

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Marko Vinski

Zagreb, 2012.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Sanjin Mahović, dipl. ing.

Student:

Marko Vinski

Zagreb, 2012.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se svojim roditeljima na njihovoj bezgraničnoj podršci i strpljenju tijekom cijelog studija. Posebno se zahvaljujem svojoj supruzi Tei na potpori i razumijevanju koju mi je iskazala tijekom zadnjih nekoliko godina mog studiranja.

Također se zahvaljujem svojem mentoru prof. dr. sc. Sanjinu Mahoviću na savjetima i pruženoj pomoći prilikom izrade ovog diplomskog rada.

Zahvaljujem se i svim djelatnicima poduzeća Vinski Juraj koji su svojom stručnošću doprinijeli kvaliteti praktičnog dijela diplomskog rada.

Zahvalio bih se gospodinu Anđelku Pavloviću i svome kolegi Nikoli Šimuniću koji su mi svojim znanjem i predanim radom pružili da naučim više.

I na kraju bih se zahvalio svim svojim prijateljima koji su mi ovo razdoblje mog života učinili nezaboravnim.



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo
materijala i mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: MARKO VINSKI

Mat. br.: 0035155526

Naslov rada na hrvatskom jeziku: KVALITETA ALATA S DIJAMANTNOM OŠTRICOM ZA OBRADU DRVA

Naslov rada na engleskom jeziku: QUALITY OF TOOLS WITH DIAMOND BLADE FOR WOODWORKING

Opis zadatka:

1. Dati pregled alata za obradu drva s posebnim osvrtom na alate sa oštricom od polikristalnog dijamanta (PCD).
2. Za karakteristični alata za profilno glodanje za obradu drva sa oštricom od polikristalnog dijamanta načiniti konstrukciju alata, opisati tehnološki postupak izrade te razraditi plan kontrole.
3. Na osnovi razrađenog plana kontrole provesti ispitivanje profilnog glodala.
4. Na temelju dobivenih podataka dati ocjenu o kvaliteti ispitanog glodala.

U radu koristiti iskustva i materijale Laboratorija za precizna mjerenja dužina FSB-a, te navesti eventualnu pomoć.


Zadatak zadan:
26. travnja 2012.

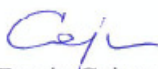
Rok predaje rada:
28. lipnja 2012.

Predviđeni datum obrane:
4., 5. i 6. srpnja 2012.

Zadatak zdao:

Predsjednik Povjerenstva:


Prof.dr.sc. Sanjin Mahović


Prof. dr. sc. Franjo Cajner

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	III
POPIS TABLICA.....	VII
POPIS OZNAKA I MJERNIH JEDINICA FIZIKALNIH VELIČINA	VIII
SAŽETAK.....	X
1. UVOD.....	1
2. PODJELA ALATA ZA OBRADU DRVA	2
3. GLODALA	5
3.1. Podjela glodala prema načinu stezanja	6
3.3.1. Glodala s provrtom	6
3.2.1. Glodala s drškom	7
3.3. Podjela glodala prema načinu izvedbe	9
3.3. Podjela glodala prema materijalu rezne oštrice	11
3.3.1. Brzorezni čelik.....	11
3.3.2. Stelit.....	12
3.3.3. Tvrdi metal	13
3.3.4. Polikristalni dijamant (PCD).....	14
3.3.5. Monokristalni dijamant (MCD)	15
3.3.6. CVD dijamant.....	16
4. POLIKRISTALNI DIJAMANT (PCD).....	17
4.2. Povjesni razvoj PCD-a.....	17
4.3. Proizvodni proces	18
4.4. Karakteristike različitih grupa PCD-a	19
4.5. Prednosti PCD alata	23
4.6. Održavanje alata s PCD oštricom	24
5. POSTUPAK PROIZVODNJE GLODALA S OŠTRICOM OD POLIKRISTALNOG DIJAMANTA	25
5.1. Konstrukcija glodala.....	26
5.1.1. Materijal obradka MDF.....	27
5.1.1.1. Svojstva materijala obradka	30
5.1.2. Proizvodne količine	31
5.1.3. Stroj na kojemu će se koristiti alat	32
5.1.4. Određivanje rezne oštrice glodala	33
5.1.5. Odabir materijala za izradu tijela glodala	34
5.1.6. Izrada tehničkih nacрта	37
5.1.7. Mjere zaštite na radu i zaštite okoliša.....	43

5.2.	Razrada tehnološkog postupka izrade po fazama	44
5.2.1.	Rezanje	45
5.2.1.1.	Rezanje čeličnog trupca prema tokarskom nacrtu.....	46
5.2.2.	Tokarenje.....	47
5.2.2.1.	Grubo tokarenje	48
5.2.2.2.	Dodatak za završnu obradu	49
5.2.2.3.	Fina obrada	49
5.2.2.4.	Tokarenje tijela alata.....	50
5.2.3.	Glodanje	53
5.2.3.1.	Glodanje uzubine i ležišta za rezu oštricu	55
5.2.4.	Brušenje drške	56
5.2.5.	Lemljenje	57
5.2.5.1.	Postupak lemljenja pločice od PCD-a.....	58
5.2.6.	Pjeskarenje	60
5.2.7.	Bruniranje	61
5.2.8.	Obrada elektroerozijom	62
5.2.8.1.	Elektroerozijska obrada alata za obradu drva s oštricom od polikristalnog dijamanta... ..	63
5.2.8.2.	Parametri obrade.....	67
5.2.8.3.	Postupak izrade rezne oštrice od PCD-a.....	68
5.2.10.	Označavanje alata.....	70
5.3.	Razrada plana kontrole	71
5.3.1.	Kontrola glodala tijekom proizvodnog procesa.....	71
5.3.2.	Završna kontrola	74
5.3.2.1.	Kontrola dimenzija i oblika.....	74
5.3.2.2.	Kontrola uravnoteženosti mase (balansiranje).....	77
6.	ISPITIVANJE PROFILNOG GLODALA Ø50x28.5x20/55 DP	85
6.1.	Mjerenje promjera drške u tri ravnine	87
6.2.	Mjerenje promjera reznih oštrica i radijalno odstupanje od kružnosti vrtnje.....	94
6.3.	Mjerenje prednjeg i stražnjeg kuta rezne oštrice	99
6.4.	Mjerenje bočnog stražnjeg kuta rezne oštrice.....	102
6.5.	Kontrola uravnoteženosti mase (balansiranje).....	104
7.	OCJENA KVALITETE ISPITANOG GLODALA	106
8.	ZAKLJUČAK	107
9.	LITERATURA	108

POPIS SLIKA

Slika 1.	Podjela alata za obradu drva	2
Slika 2.	Podjela glodala prema normi HRN EN 847-1	5
Slika 3.	Glodalo s provrtom [16]	6
Slika 4.	Hidro prihvat.....	7
Slika 5.	Stezanje hidro prihvata	7
Slika 6.	Glodala izvedena iz jednog materijala.....	9
Slika 8.	Glodalo s izmjenjivim pločicama [28]	10
Slika 10.	Materijali rezne oštrice (odnos tvrdoće i žilavosti) [28].....	11
Slika 11.	Alat sa reznim oštricama od brzoreznog čelika (lijevo), HSS pločica (desno)	12
Slika 12.	Tvrđi metal (lijevo), glodalo s lemljenom pločicom od tvrdog metala (desno)	13
Slika 13.	Pločice PCD-a.....	14
Slika 14.	Udio proizvodnje PCD-a u pojedinim zemljama.....	18
Slika 15.	Postupak proizvodnje PCD-a (HPHT) [40]	19
Slika 16.	Veličine mikrozrna dijamanta izražene u μm [36]	20
Slika 17.	Usporedba obradivosti različitih vrsta PCD-a [21]	21
Slika 18.	Otpornost na trošenje pojedinih vrsta PCD-a [21]	22
Slika 19.	Glodalo s drškom 3D model	25
Slika 20.	Sirovina za izradu MDF-a	27
Slika 21.	Proizvodni proces MDF-a	28
Slika 22.	Finaliziranje procesa izrade MDF-a	29
Slika 23.	MDF ploče	30
Slika 24.	Ladica 500x150x22 - alat obrađuje rub ladice označen žutom bojom	31
Slika 25.	CNC nadstolna glodalica „Wekke Venture 2“	32
Slika 26.	Polikristalni dijamant (lijevo), pločice PCD-a koje se leme na tijelo glodala (desno)	33
Slika 27.	Karakteristični kutevi za pojedine materijale rezne oštrice [28]	33
Slika 28.	Dijagram poboljšavanja [5]	35
Slika 29.	Dijagram naprezanje-istezanje [5]	35
Slika 30.	Certifikat za odabrani čelik za izradu tijela glodala	36
Slika 31.	Radni nalog	37
Slika 32.	Tokarski nacrt	38
Slika 33.	Glodački nacrt.....	39

Slika 34. Brusački nacrt	40
Slika 35. Nacrt za izradu PCD pločice.....	41
Slika 36. Nacrt za postupak oštrenja elektroerozijom.....	42
Slika 37. Zaštitna sredstva	43
Slika 38. Parametri zahvata tračne pile.....	45
Slika 39. Stroj tračna pila (lijevo) i dobiveni obradak (desno)	46
Slika 40. Parametri zahvata kod tokarenja.....	47
Slika 41. Tokarski stroj (Monforts KNC 5)	50
Slika 42. Vertikalna glodalica i obradak nakon operacije glodanja.....	53
Slika 43. Parametri zahvata (glodanje) [30]	54
Slika 44. 3D model glodala nakon operacije glodanja	55
Slika 45. Univerzalna brusilica (lijevo) i 3D model (desno)	56
Slika 46. Priprema obradka za lemljenje (ljevo) i sendvič lem (desno)	57
Slika 47. Kako postotak kobalta utječe na toplinsku vodljivost lema [40].....	58
Slika 48. Naprezanja koja se javljaju nakon lemljenja (lijevo) i indukcijsko lemljenje (desno)	59
Slika 49. Pjeskarilica.....	60
Slika 50. Glodalo prije uranjanja u vrelu koncentriranu lužinu (lijevo), glodalo nakon bruniranja i impregniranja	61
Slika 51. Elektroerozija uz pomoć žiga (lijevo) i žice (desno) [18]	62
Slika 52. Elektroerozija diskom (lijevo) i žicom (desno)	63
Slika 53. Stroj QWD 750 H	63
Slika 54. Prikaz osi stroja QWD 750H	64
Slika 55. Shematski prikaz obrade elektroerozijom [40].....	64
Slika 56. Žica (alat) za obradu	65
Slika 57. Prikaz stvaranja izboja (iskre) i obrade elektroerozijom [40].....	66
Slika 58. Kako frekvencija generatora impulsa utječe na obradu elektroerozijom [19].....	67
Slika 59. Izrada dxf-a u autocadu	68
Slika 60. Program za definiranje rezne oštrice i putanje žice	69
Slika 61. Simulacija putanje žice	69
Slika 62. 3D model glodala (lijevo) i oštrenje postupkom elektroerozije (desno)	70
Slika 63. Laser	70
Slika 64. Glodalo označeno prema normi HRN EN 847-1	71
Slika 65. Dubinomjer	72

Slika 66. Pomično mjerilo.....	72
Slika 67. Mikrometar	72
Slika 68. Kutomjer	72
Slika 69. Šablone za kontrolu radijusa.....	72
Slika 70. Zoller smatrcheck	75
Slika 71. Prihvat adaptera (lijevo) i adapteri (desno) [39].....	76
Slika 72. Stroj za balansiranje (lijevo), skidanje mase bušenjem (desno)	77
Slika 73. Prikaz na ekranu računala u koji se upisuju parametri potrebni za balansiranje	78
Slika 74. Klase balansiranja (za alate G 6.3) [20].....	79
Slika 75. Područje djelovanja pojedine klase balansiranja [20].....	80
Slika 76. Shematski prikaz debalansa [38]	81
Slika 77. Ekscentričnost [38]	81
Slika 78. Tribos prihvat u prvobitnom stanju [40].....	82
Slika 79. Stezanje alata u tribos prihvat [40]	83
Slika 80. Prihvat s elastičnom čahurom [26]	83
Slika 81. Kontrolni nacrt.....	85
Slika 82. Mjerni uređaj Zoller.....	86
Slika 83. Mjerenje drške u tri ravnine.....	87
Slika 84. Mjerenje promjera drške glodala - kontrolni list 1.	88
Slika 85. Određivanje mjerne baze – kontrolni list 2.....	89
Slika 86. Mjerenje promjera drške u prvoj mjernoj ravnini – kontrolni list 3	90
Slika 87. Mjerenje promjera drške u drugoj mjernoj ravnini - kontrolni list 4.....	91
Slika 88. Mjerenje promjera drške u trećoj mjernoj ravnini – kontrolni list 5.	92
Slika 89. Mjerenje odstupanja drške glodala od kružnog oblika – kontrolni list 6.....	93
Slika 90. Mjerenje promjera rezne oštrice	94
Slika 91. Mjerenje promjera reznih oštrica i radijalnog odstupanja od kružnosti vrtnje – kontrolni list 7.....	95
Slika 92. Određivanje mjerne baze – kontrolni list 8.....	96
Slika 93. Mjerenje promjera $d=37\text{ j9}$ i radijalnog odstupanja od kružnosti vrtnje – kontrolni list 9.....	97
Slika 94. Mjerenje promjera $d=50\text{ j9}$ i radijalnog odstupanja od kružnosti vrtnje – kontrolni list 10	98
Slika 95. Kutevi rezne oštrice	99
Slika 96. Mjerenje prednjeg i stražnjeg kuta – kontrolni list 11.	100

Slika 97. Mjerenje prednjeg i stražnjeg kuta na poziciji $Z=130,494$ i $d=37\text{mm}$	101
Slika 98. Mjerenje prednjeg i stražnjeg kuta na poziciji $Z=106,654$ i $d=50\text{mm}$	101
Slika 99. Bočni stražnji kut 6°	102
Slika 101. Mjerenje stražnjeg bočnog kuta – kontrolni list 12.	103
Slika 102. Prikaz na ekranu računala koji se pojavljuje ako je alat dobro izbalansiran	104
Slika 103. Rezultati balansiranja.....	105

POPIS TABLICA

Tablica 1. Tolerancijska polja za cilindrične drške.....	8
Tablica 2. Propisana duljina stezanja	8
Tablica 3. Usporedba PCD-a i TM-a	23
Tablica 4. Svojstva MDF ploča.....	30
Tablica 5. Karakteristike stroja na kojemu će se vršiti obrada.....	32
Tablica 6. Parametri obrade	46
Tablica 7. Tokarenje čela obradka - prvo stezanje.....	50
Tablica 8. Izrada središnjeg gnjezda - prvo stezanje.....	51
Tablica 9. Grubo vanjsko tokarenje - prvo stezanje.....	51
Tablica 10. Vanjsko fino tokarenje - prvo stezanje.....	51
Tablica 11. Obrada poravnavanja čela - drugo stezanje.....	52
Tablica 12. Izrada središnjeg gnjezda - drugo stezanje.....	52
Tablica 13. Vanjsko grubo tokarenje - drugo stezanje.....	52
Tablica 14. Vanjsko fino tokarenje - drugo stezanje.....	52
Tablica 15. Usporedba različitih načina stezanja za HSK 63F prihvate za alate s drškom	84
Tablica 16. Prijevod pojmova iz kontrolnih listova	86

POPIS OZNAKA I MJERNIH JEDINICA FIZIKALNIH VELIČINA

α	[°]	- stražnji kut rezne oštrice
β	[°]	- kut klina
γ	[°]	- prednji kut rezne oštrice
ϑ	[°C]	- temperatura
ϑ_a	[°C]	- temperatura austenitizacije
ϑ_p	[°C]	- temperatura popuštanja
ρ	[kg/m ³]	- gustoća
e	[μm]	- udaljenost osi rotacije od centra gravitacije kod balansiranja
R_a	[μm]	- srednje aritmetičko odstupanje profila hrapavosti
F_c	[N]	- centrifugalna sila
m	[kg]	- masa
M	[kg]	- masa alata
U	[g mm]	- veličina debalansa
r	[mm]	- udaljenost neuravnoteženosti mase od osi rotacije
P	[W]	- snaga
U	[V]	- napon
I	[A]	- jakost struje
n	[min ⁻¹]	- frekvencija vrtnje
v_c	[m min ⁻¹]	- brzina rezanja
f	[mm]	- posmak po okretaju obradka kod tokarenja
f_z	[mm]	- posmak po zubu glodala
a_p	[mm]	- dubina obrade
b	[mm]	- širina reza
CVD	- (engl. Chemical Vapour Deposition) kemijsko taloženje iz parne faze	
DLC	- (engl. Diamond Like Carbon) prevlaka od ugljika slična dijamantu	
DP	- ISO oznaka za alate s dijamantnom oštricom	
G	- klasa balansiranja	
GE	- General Electric	
HDF	- (engl. High Density Fibreboard) ploče vlaknatice visoke gustoće	
HPHT	- (engl. High Pressure High Temperature) visoki tlak visoka temperatura	
HRC	- tvrdoća mjerena metodom Rockwell C	
HSS	- brzorezni čelik	

HW	- tvrdi metal
MCD	- (engl. Monocrystalline Diamond) monokristalni dijamant
MDF	- (engl. Medium Density Fibreboard) ploče vlaknatice srednje gustoće
OSB	- (engl. Oriented Strand Board) OSB ploča
PCD	- (engl. Polycrystalline Diamond) polikristalni dijamant

SAŽETAK

U ovom diplomskom radu opisani su alati za obradu drva koji se koriste u suvremenoj drvoprerađivačkoj industriji, što čini sadržaj prvog dijela rada. U drugom dijelu naglasak je na glodalima, objašnjene su podjele glodala s obzirom na način stezanja, način izvedbe te prema materijalu rezne oštrice. Jedan od materijala koji se koristi za izradu rezne oštrice je i polikristalni dijamant PCD koji se još naziva industrijski ili sintetički dijamant. U radu je opisan razvoj tog materijala, njegov proizvodni proces te karakteristike i primjena. U zadnjem dijelu diplomskog rada opisan je i dokumentiran postupak konstrukcije i proizvodnje glodala s oštricom od PCD-a po svim fazama u skladu s normama HRN EN 847-1 i HRN EN 847-2 koje govore o sigurnosnim zahtjevima alata za obradu drva. Na kraju je opisan plan kontrole prema kojemu je i izvršena kontrola glodala konstruiranog za potrebe ovog diplomskog rada i dana je ocjena kvalitete navedenog glodala.

1. UVOD

Razvoj drvoprerađivačke djelatnosti i srodnih grana proizvodnje može se pratiti kroz razdoblje od 4000 g.pr.Kr., kada su Egipćani prvi puta počeli koristiti drvo za izradu namještaja, do današnjeg vremena, u kojemu postoji širok spektar materijala na bazi drva. Paralelno su se razvijali alati korišteni za obradu drva, od sjekira i ručnih pila izrađenih od bakra ili bronce, preko kružnih pila i strojeva za blanjanje izumljenih za vrijeme industrijske revolucije u 19.st., do suvremenih i naprednih alata među koje spadaju i glodala s oštricama od polikristalnog dijamanta.

Razvoj alata za obradu drva može se promatrati s gledišta razvoja novih materijala na bazi drva. Dok se nekada sve proizvodilo iz masivnog drva, danas se za izradu namještaja sve više upotrebljavaju materijali izvedeni iz drveta, a to su najčešće ploče iverice i ploče vlaknatice te ljepljeni elementi.

Pojava tih novih materijala djelomično je istisnula masivno drvo, ponajviše zbog svoje cjenovne konkurentnosti, a istovremeno je potaknula i inovacije na području alata za obradu tih materijala. Sve veća potražnja za pločastim namještajem potaknula je sve veću proizvodnju koja ne može biti efikasna ukoliko nisu upotrijebljeni kvalitetni alati. Alati s oštricom od tvrdog metala pogodni su za pojedinačnu proizvodnju ili manje serije, ali u slučaju velikih serija javlja se potreba za alatom čiji će vijek trajanja biti duži i koji će zahtijevati manju frekvenciju servisiranja.

Glodala s reznom oštricom od PCD-a ispunjavaju navedene zahtjeve i predstavljaju vrhunac suvremene industrije alata za obradu drva i ostalih materijala na bazi drva.

Ovi alati će sigurno u budućnosti imati još veći značaj, a na našem tržištu su relativno rijetko zastupljeni, i zbog toga su detaljnije opisani u diplomskom radu. Ovaj diplomski rad predstavlja opis procesa proizvodnje glodala s reznom oštricom od polikristalnog dijamanta s posebnim naglaskom na ispitivanje i ocjenu kvalitete tog alata.

2. PODJELA ALATA ZA OBRADU DRVA

Zbog velikog broja proizvoda na bazi drva postoji velik broj različitih vrsta alata koji se koriste prilikom obrade drva. Područje obrade drva koje će ovdje biti opisano je mehanička obrada drva mehaničkim rezanjem, tj rezanje sa stvaranjem strugotine.



Slika 1. Podjela alata za obradu drva

Alati koji se koriste za obradu drva generalno se dijele u dvije glavne skupine, a to su alati koji se koriste u primarnoj preradi drva u pilanama i alati koji se koriste u finalnoj obradi drva za izradu namještaja, građevne stolarije, zidnih obloga itd. Na slici 1. su prikazane najznačajnije grupe alata koje se koriste za obradu drva. U ovoj podjeli prikazan je slijed alata koji prati obradu drva od njegove sječe u šumi do finalnog proizvoda. U daljnjem tekstu nekoliko rečenica bit će napisano o pojedinim grupama alata, a poseban osvrt bit će na glodalima i na njihovoj podjeli.

1. Lanci – Lanac je alat koji se montira na list motorne pile u vodilicu za lanac. Koriste se za obaranje stabala u šumi i za pripremu drvenih trupaca za njihov transport iz šume u pilanu.
2. Tračne pile – koriste se na strojevima koji se zovu tračne pile. Postoji nekoliko vrsta tračnih pila, a to su: teške tračne pile koje služe za rezanje trupaca i razrezivanje prizama, srednje tračne pile koje se koriste za razrezivanje prizama i debljih piljenica u tanje te lake ili stolarske tračne pile koje se upotrebljavaju za stolarske radove. Tračnim pilama se mogu rezati trupci i piljenice po ravnoj liniji, ali one pile koje imaju uske listove mogu se uporebljavati za izrezivanje krivolinijskih detalja u proizvodnji namještaja. Alat je izveden kao jednostrano nazubljena traka čiji su krajevi spojeni tako da čini beskonačnu traku. Geometrija i korak zuba ovise o tome za koju primjenu se koriste tračne pile i koji je materijal obratka koji se reže. Isto tako širina lista tračne pile ovisi o njenoj namjeni. Tako su npr. kod stolarskih tračnih pila širine lista od 6 do 60 mm, a kod teških tračnih pila širine lista se kreću od 150 do 500 mm. [3]
3. Pile jarmače – koriste se na strojevima koji se nazivaju jarmače. Pile jarmače su jednostrano ili obostrano nazubljeni listovi koji se zatežu u jaram. Pile se izrađuju s različitim korakom ozubljenja, ali isto tako i s različitom geometrijom zuba ovisno o materijalu koji se obrađuje. Duljina lista pile određena je prema maksimalnoj visini reza odnosno maksimalnom promjeru trupca koji se propiljuje te prema hodu jarma. U primarnoj industriji koriste se za propiljivanje trupaca u piljenice i prizme, a u finalnoj industriji za piljenje prizama i debljih piljenica u tanje piljenice. [3]
4. Noževi - Noževi se koriste na strojevima za otkoravanje, pravljenje biomase (sječkalice), na glavama za blanjanje i raznim glodalima u finalnoj obradi drva. U svim gore navedenim primjerima noževi se učvršćuju mehaničkim putem tako da su pričvršćeni na tijelo nosača, obično klinastim letvama koje djeluju zateznim vijcima i centrifugalnom silom, u novije vrijeme klinovima koji djeluju samo centrifugalnom silom (tersa) ili samo vijcima. Rezna oštrica može biti izrađena od legiranog čelika, brzoreznog čelika, stelita, tvrdog metala, a u novije vrijeme i od polikristalnog dijamanta.

5. Kružne pile – primjenjuju se u svim granama drvne industrije i jedan su od najzastupljenijih reznih alata u drвноj industriji. Mogu se podijeliti u tri osnovne grupe: pile za dužno rezanje, pile za poprečno rezanje drva i kružne pile za rezanje umjetnih materijala. Koriste se na strojevima kao što su stolna kružna pila, višeliska kružna pila te horizontalnim i vertikalnim raskrajačima ploča. Kružne pile mogu biti kompletno izrađene od alatnih čelika (obične kružne pile), ili opločene reznim oštricama stelita, tvrdog metala ili polikristalnog dijamanta.
6. Drobljači – sam naziv alata govori o njegovoj primjeni, znači koristi se za drobljenje i usitnjavanje drva i pločastih materijala, pored toga uloga mu je da ostavlja čist i precizan rez na elementu koji se obrađuje. Alati se montiraju na vratilo strojeva kao što su dvostrani profileri i linije za krojenje pločastih materijala. Rezna oštrica alata za obradu masivnog drva je izvedena od tvrdog metala, a na linijama za krojenje pločastog materijala koristi se alat s reznom oštricom od polikristalnog dijamanta.
7. Glodače glave – primjenjuju se za poravnavanje elemenata od masivnog drva u proizvodnji krovnih konstrukcija, ljepljenih ploča, građevne stolarije, zidnih i podnih obloga, proizvodnje namještaja, itd. Primjenjuju se na viševretenim blanjalicama. Između glodačkih glava i glodala vrlo je teško povući crtu, ali u ovoj podjeli one su odvojene zbog njihove primjene.
8. Glodala – budući da je ovaj rad vezan uz ovu grupu alata detaljniji opis glodala dan je u poglavlju 3.
9. Svrkla - koriste se na alatnim strojevima za obradu drva koji se zovu bušilice i CNC obradnim centrima. Bušilice mogu biti jednovretene i viševretene (tiplerice). Služe za izradu provrta kružnog presjeka, alat izvodi glavno kretanje rezanja okretanjem oko svoje osi. Bušilice mogu biti sa horizontalnim, vertikalnim ili nagibnim nosačem glavnog vretena s ručnim ili automatskim posmakom. U tu grupu alata spadaju svrdla za izradu prolaznih i slijepih rupa, svrdla za izradu skošenja (upuštači), stepenasta svrdla itd. [1]
10. Posebna grupa alata koja se koristi kod izrade provrta pravokutnog presjeka su lančana glodala. Takvi alati se sastoje od beskonačnog lanca koji po svom obodu ima oštrice, a strojevi gdje se primjenjuje takav alat su lančane glodalice. [1]

3. GLODALA

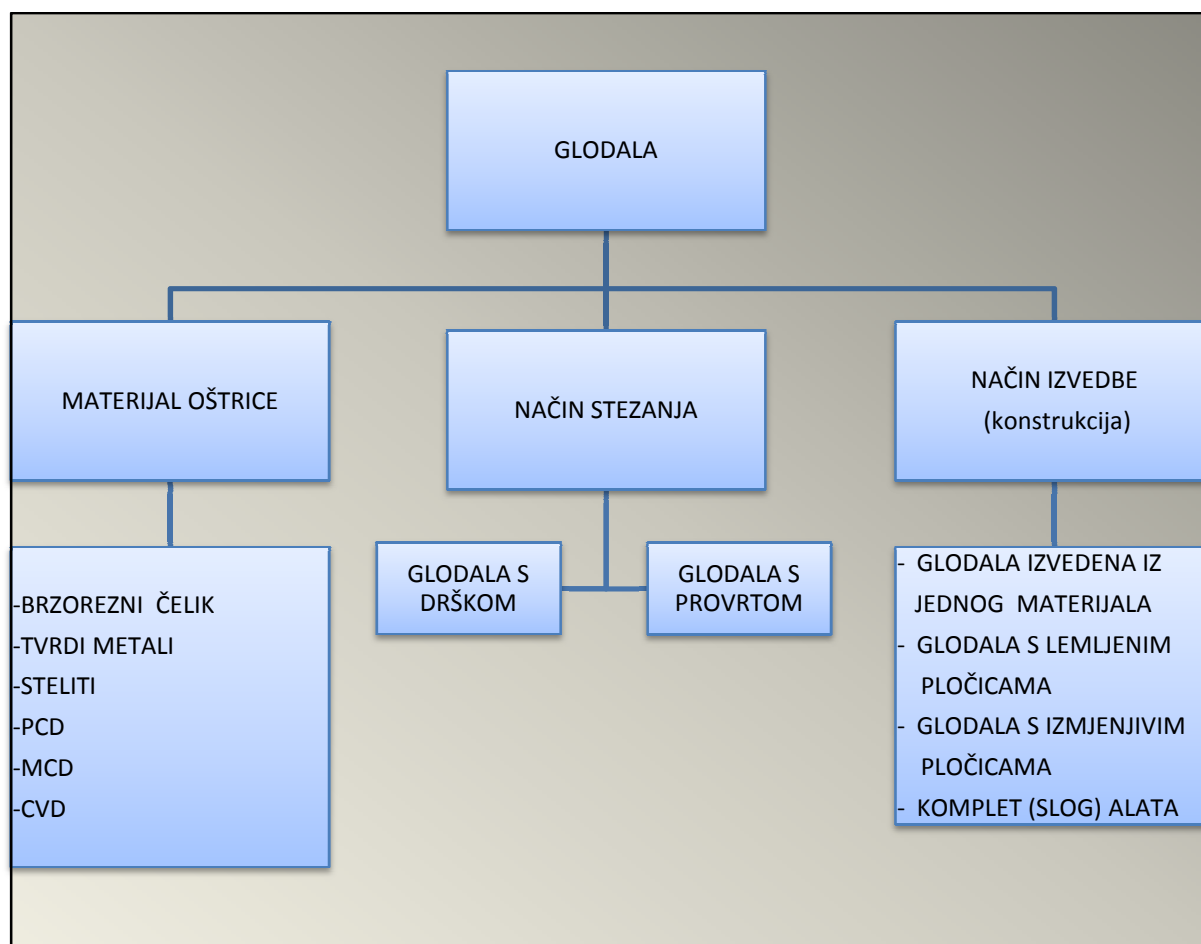
Glodala za obradu drva su rotirajući alati za rezanje materijala putem uklanjanja strugotina kojima je glavni smjer opsluživanja obično okomit na rotacijsku os.[16]

Glodala se koriste u finalnoj obradi drva i gotovo da nema niti jednog proizvoda izrađenog od drva gdje se nije koristila neka vrsta glodala osim kod tokarenih elemenata.

Strojevi na kojima se koriste ovi alati su glodalice, kopirne glodalice, nadstolne glodalice, hobi strojevi, strojevi za obradu rubova (kanterice), četverostrane blanjalice, CNC obradni centri, dvostrani profileri, karuseli itd.

Glodala se mogu podijeliti na tri načina (slika 2.): [16]

- prema načinu stezanja,
- prema načinu izvedbe (konstrukciji) i
- prema vrsti materijala oštrice.



Slika 2. Podjela glodala prema normi HRN EN 847-1

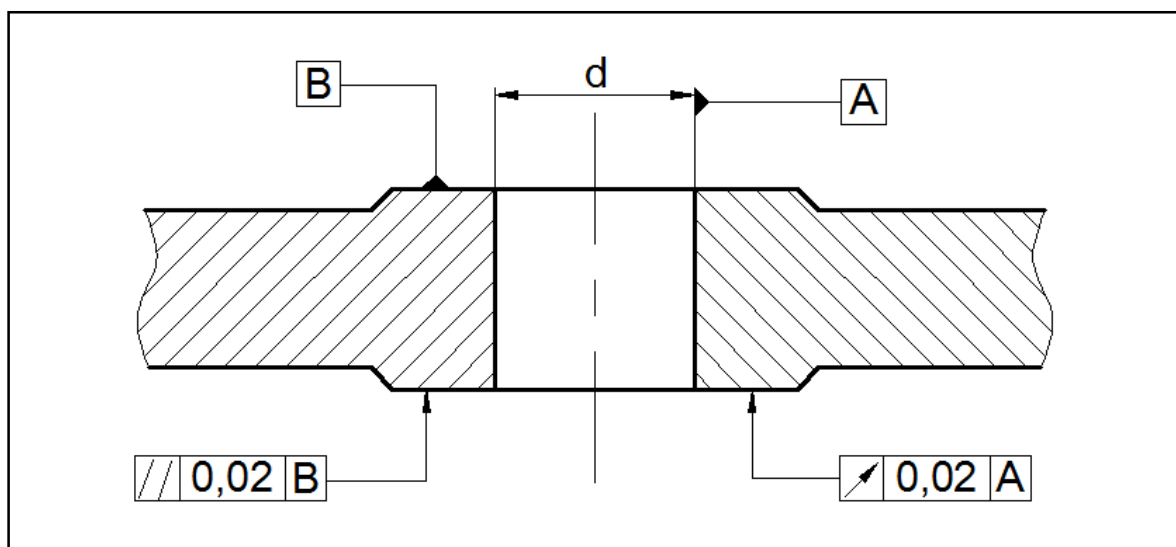
3.1. Podjela glodala prema načinu stezanja

Prema načinu stezanja glodala se dijele na:

- glodala s provrtom,
- glodala s drškom.

3.3.1. Glodala s provrtom

Glodala s provrtom koriste se na svim strojevima gdje se alat učvršćuje direktno na vratilo stroja. Provrti glodala za obradu drva moraju biti napravljeni u tolerancijskom polju H7 prema normi ISO 286-2. Osim toga hrvatska norma HRN EN 847-1 propisuje i zahtjeve na površine koje stežemo, a prije svega tu je bitna paralelnost površina nalijezanja kao što je prikazano na slici 3.



Slika 3. Glodalo s provrtom [16]

Radi postizanja veće točnosti za stezanje glodala često se koriste hidro prihvat (slika 4.). Na njih se najčešće montiraju glodala od kojih se zahtjeva visoka preciznost. To su najčešće glodala za spojeve npr. glodala za izradu utora i pera kod parketa ili podova općenito. Glodala se montiraju tako da se prvo mehanički učvrste vijcima na hidro prihvati, a zatim se hidro prihvati montiraju na vratilo stroja i stegnu. Stezanje može biti mehaničko (vijak) i pomoću pumpe. Postoje hidraulički prihvat koji stežu samo vratilo i oni koji stežu vratilo i alat što će se bolje vidjeti iz slike 5.



Slika 4. Hidro prihvati

Princip rada hidro prihvata je takav da se ulje (mast) tlači na 400-450 bara i ravnomjerno raspoređuje pritisak po cijelom obodu provrta hidro prihvata. Na taj način deformira se unutarnji promjer čime se stvara pritisak između provrta prihvata i vratila stroja. Postoje i hidro prihvat koji uslijed stlačivanja ulja šire vanjski promjer prihvata čime se steže alat, a smanjuju provrt prihvata čime se steže vratilo stroja.



Slika 5. Stezanje hidro prihvata

3.2.1. Glodala s drškom

Glodala s drškom koriste se uglavnom na ručnim glodalicama i nadstolnim glodalicama koje mogu biti klasične (manualne) i numerički upravljane.

Najčešći oblici drške koji se koriste u drvnoj industriji su: [40]

1. cilindrična drška,
2. konusna drška,
3. i drška s navojem.

1. Glodala sa cilindričnom drškom mogu se stezati:

- elastičnim čahurama,
- vijcima,
- hidro prihvatom,
- termo prihvatom,
- i tribos prihvatom.

2. Glodala s konusnom drškom mogu biti s:

- morseovim konusom,
- ISO konusom (SK),
- HSK,
- ili konusom koji je odredio proizvođač stroja.

3. Glodala koja se učvršćuju putem navoja na glavno vreteno stroja imaju navoje:

- M12x1,
- M8 ,M10,
- ili navoj koji je odredio proizvođač stroja.

Oblik drške koji se najčešće koristi je cilindrična drška, a najrašireniji način stezanja cilindričnih drški u drvenoj industriji je putem elastičnih čahura i u novije vrijeme termo prihvatom i tribos prihvatom.

Cilindrične drške rade se u skladu s normom EN 847-2 koja govori o zahtjevima za jačinu drške alata za glodanje. U ovoj normi propisani su zahtjevi koji su bitni za dršku glodala, a odnose se na tolerancijsko polje i na duljinu same drške glodala.

Tolerancijsko polje u kojem mora biti izrađena drška ovisi o promjeru drške što se može vidjeti iz tablice 1.

Promjer drške	$d < 12\text{mm}$	$d \geq 12\text{mm}$
Za alate koji se koriste na numerički upravljanim strojevima	h6	g6
Ručne hobi i profesionalne glodalice	g7/h8	-

Tablica 1. Tolerancijska polja za cilindrične drške

Minimalna vrijednost duljine stezanja (l_{\min}) koja se propisuje za glodala s drškom izračunava se prema tablici 2.

$d \leq 10\text{ mm}$	$10\text{ mm} < d < 25\text{ mm}$	$d \geq 25\text{ mm}$
$l_{\min} \geq 20\text{ mm}$	$l_{\min} \geq 2 \times d\text{ (mm)}$	$l_{\min} \geq 1,8 \times d\text{ (mm)}$

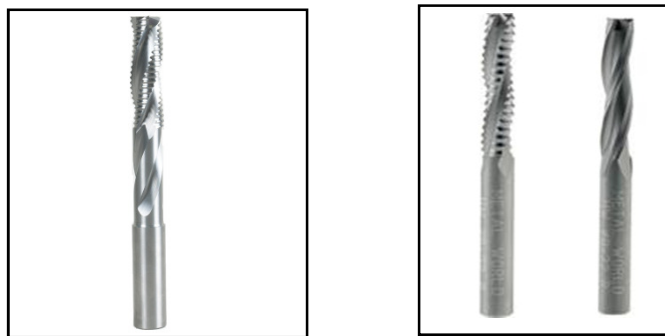
Tablica 2. Propisana duljina stezanja

3.3. Podjela glodala prema načinu izvedbe

Prema načinu izvedbe glodala za obradu drva mogu se podjeliti na:

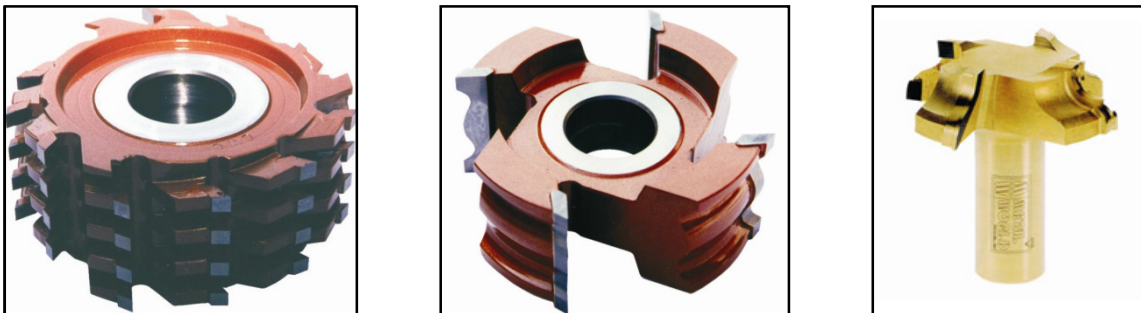
- glodala koja su cijela izvedena iz jednog materijala,
- glodala s lemljenim pločicama,
- glodala s izmjenjivim pločicama,
- komplet glodala (slog glodala).

Glodala izvedena iz jednog materijala su jednodjelni alati bez povezanih ili odvojivih dijelova. Kao što im i samo ime govori, tijelo i oštrica glodala izrađene su iz istog materijala. Materijali koji se danas najčešće upotrebljavaju u izradi takvih alata su brzorezni čelik i tvrdi metal. Na slici 6. su prikazana glodala koji su kompletno izvedena iz tvrdog metala.



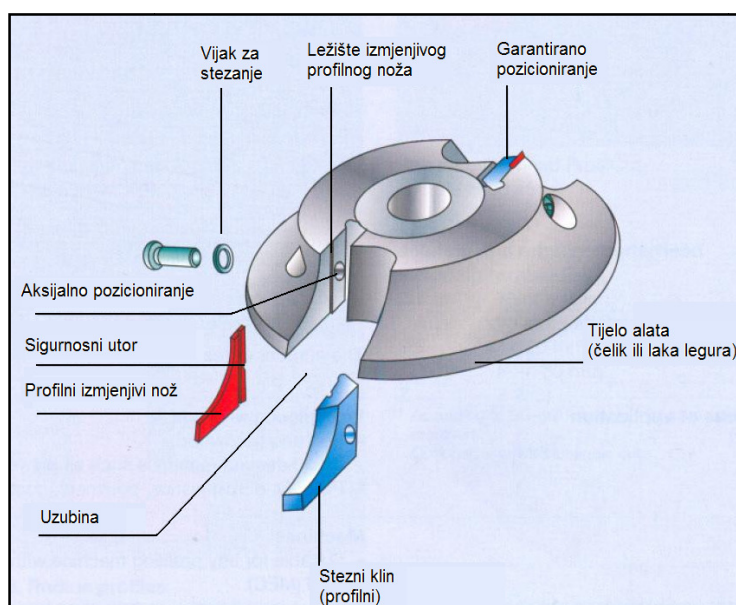
Slika 6. Glodala izvedena iz jednog materijala

Glodala s lemljenim pločicama (slika 7.) su ona čiji su dijelovi za rezanje, odnosno rezne oštrice, spojeni s tijelom alata putem postupka lemljenja. I danas je upotreba takvih alata dosta velika u drvenoj industriji. Materijal oštrice najčešće je brzorezni čelik, tvrdi metal i polikristalni dijamant, dok je tijelo alata najčešće izrađeno iz neke vrste čelika za poboljšavanje (C45, C45E, 42CrMo4).



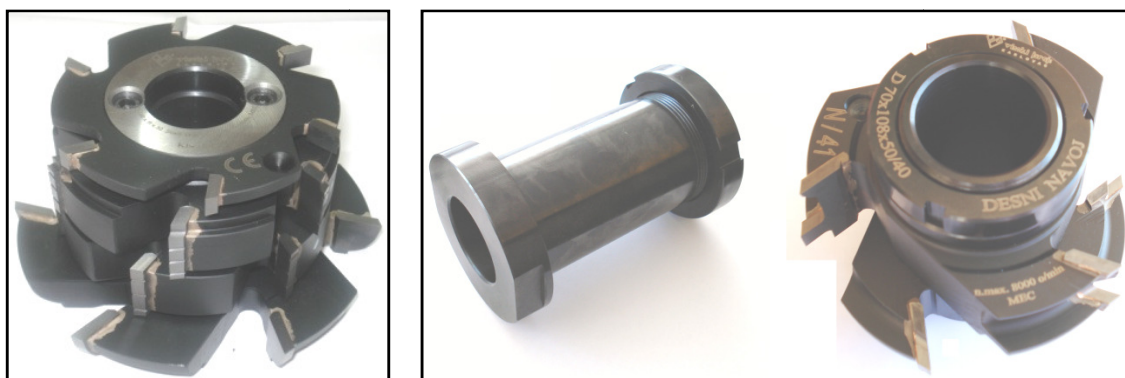
Slika 7. Glodala s lemljenim pločicama

Glodala s izmjenjivim pločicama (slika 8.) su alat kod kojeg se jedna ili više komponenti za rezanje (izmjenjivi nožići) mogu montirati na tijelo fiksiranjem odvojivih dijelova. Prednost alata s izmjenjivim pločicama je u tome što se nakon izmjene pločice održava konstantni promjer glodala čime se olakšava i skraćuje vrijeme podešavanja stroja. Također postoji i mogućnost stavljanja pločica različitih kvaliteta ovisno o obrađivanom materijalu. Uglavnom se tu radi o različitim kvalitetama noževa iz tvrdog metala HW. Prednost alata s izmjenjivim pločicama je i u vijeku trajanja oštice u odnosu na lemljene pločice.



Slika 8. Glodalo s izmjenjivim pločicama [28]

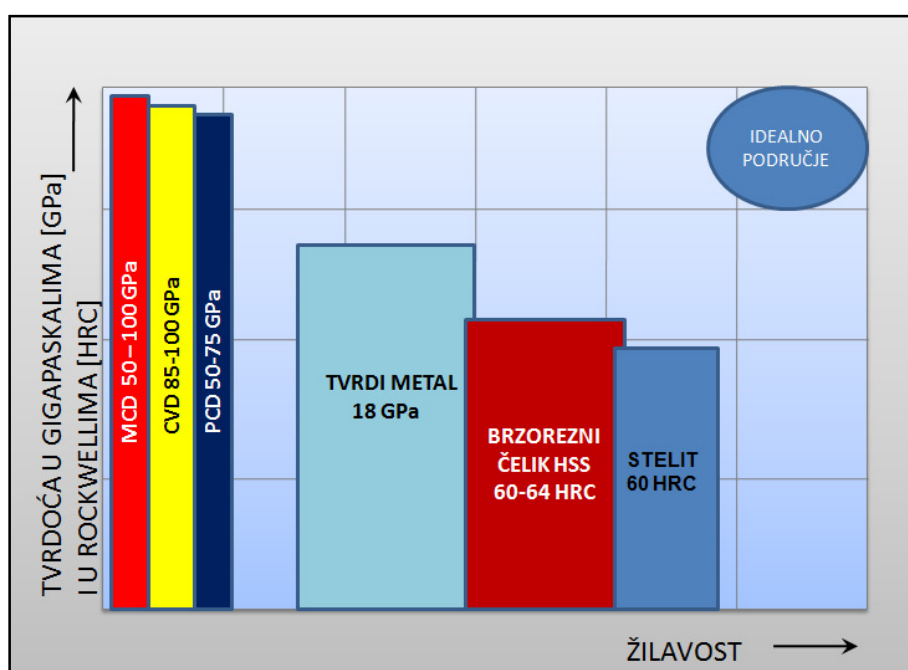
Komplet (slog) glodala (slika 9.) je jedinica koja se sastoji od određenog broja pojedinačnih glodala koji su zajedno spojeni vijcima (slika 9. lijevo) ili se nalaze na nosaču (reducir prstenu) (slika 9. desno), a njihova pozicija je određena zatikom ili oznakom. Takvi alati su karakteristični za izradu prozora.



Slika 9. Načini mehaničkog učvršćivanja kompleta glodala koji rade u sklopu pomoću vijaka (lijevo), pomoću reducir prstena (desno)

3.3. Podjela glodala prema materijalu rezne oštrice

Podjela prema vrsti materijala usko je povezana s razvojem drvne industrije i potrebama za što većom produktivnošću, a samim time i što dužim vijekom trajanja oštrice. Materijal rezne oštrice određuje kvalitetu obrade, trajnost i postojanost alata, ali isto tako je i najvažniji čimbenik koji utječe na cijenu alata. Raspon materijala koji se koriste za izradu reznih oštrica vrlo je velik. Danas se najviše upotrebljavaju glodala s reznom oštricom od brzoreznog čelika, stelita, tvrdog metala, polikristalnog dijamanta, monokristalnog dijamanta i CVD dijamanta.



Slika 10. Materijali rezne oštrice (odnos tvrdoće i žilavosti) [28]

Na slici 10. prikazani su materijali reznih oštrica i odnos njihove tvrdoće i žilavosti. Iz slike se može zaključiti da materijali s većom tvrdoćom imaju manju žilavost i obrnuto.

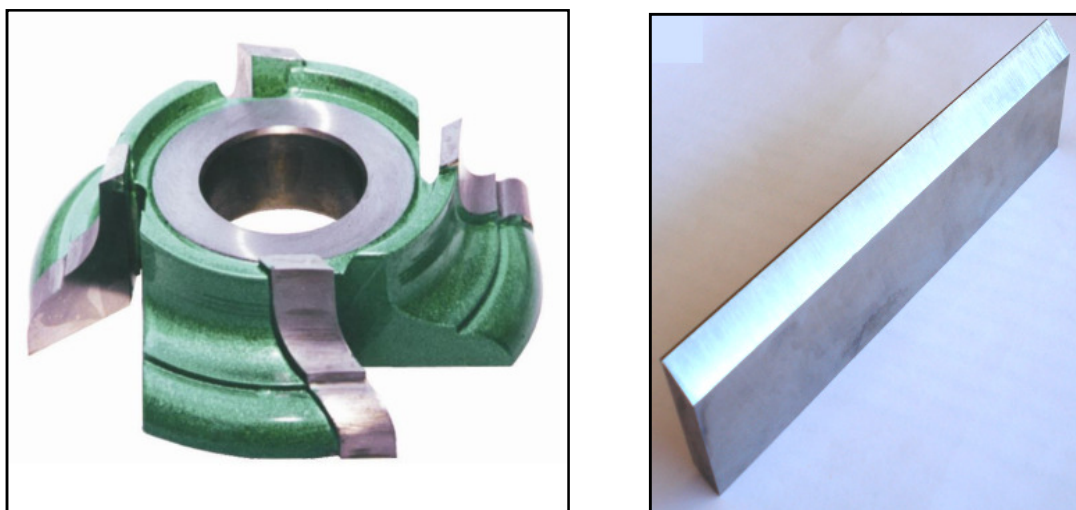
3.3.1. Brzorezni čelik

Brzorezni čelici su vrsta alatnih čelika koji se koriste za izradu alata koji rade na velikim brzinama okretaja. Karakteristike takvih alata su da imaju visoku tvrdoću, žilavost, otpornost na trošenje i trajnost rezne oštrice te da takve karakteristike rezna oštrica alata zadržava i pri zagrijavanju alata tijekom obrade.

Postoji više vrsta brzoreznih čelika, a njihova svojstva su određena udjelom ugljika i ostalih kemijskih elemenata kao što su Cr, W, Mo, V, Co u različitim omjerima. [7]

Alat za obradu drva s pločicom od brzoreznog čelika u usporedbi s alatom koji ima reznu oštricu od polikristalnog dijamanta ili tvrdog metala ima najslabiju otpornost na trošenje, ali je zato žilavost takvog alata velika.

Takvi alati koriste se za obradu drva koje imaju malu tvrdoću, kao što su jela, bor, smreka itd. Kao što se vidi na slici 11., nije cijeli alat izrađen od brzoreznog čelika, već samo rezna oštrica koja se lemi na tijelo alata. Jedan od brzoreznih čelika za izradu rezne oštrice alata za obradu drva je W-Mo čelik HS6-5-2 (Č7680) kemijskog sastava 0.82%C, 4.0%Cr, 6.5%W, 5.0%Mo, 1.9%V. Ovaj čelik se odlikuje velikom žilavošću i dobro se obrađuje obradom odvajanjem čestica.



Slika 11. Alat sa reznim oštricama od brzoreznog čelika (lijevo), HSS pločica (desno)

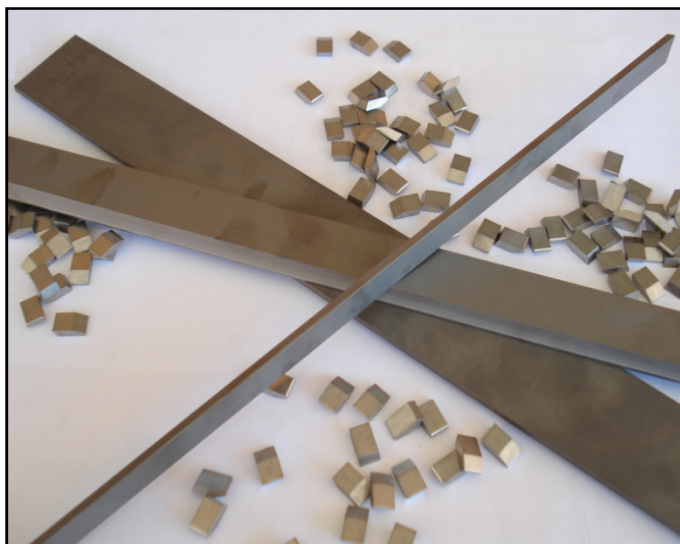
3.3.2. Stelit

Steliti (ST) ili tvrde legure počeli su se primjenjivati u Americi početkom 20 st., a po svojim svojstvima ovi se materijali nalaze između brzoreznih čelika i tvrdih metala. Postojanost oštrice ovakvog alata je veća nego kod brzoreznog čelika zato što alat izrađen iz ovog materijala može podnositi visoke temperature tijekom rada. Kemijski sastav tvrdih legura iznosi otprilike 17%W, 25%Cr, 35%Co i 2-5%C. Osim tih elemenata možemo naći i manje količine mangana, vanadija, nikla, titana i tantala, a ostatak od otprilike 10% je željezo (Fe). Oblikovanje se izvodi lijevanjem u kokile, a obrađuju se postupkom brušenja. [3]

3.3.3. Tvrdi metal

Karakteristika tvrdih metala je velika otpornost na trošenje. Dobivaju se postupkom sinteriranja. Prednosti sinteriranih metalnih proizvoda su u tome što se po volji može birati zrnatost, vrsta i udio pojedinih tvrdih čestica koje na kraju određuju tvrdoću materijala. Prije postupka sinteriranja priprema se smjesa od zasićenih volfram karbida i kobalta koji ujedno služi i kao vezivo. Uz volfram karbide mogu se još dodavati i titanovi i tantalovi karbidi. [7]

Velika je primjena ovih alata u postupcima mehaničke obrade drva prvenstveno zbog svoje brzoreznosti, odnosno postojanosti oštrice na visokim temperaturama rezanja. Bez obzira što takvi materijali nemaju veliku žilavost tj. ne podnose dobro udarna opterećenja, oni su istisnuli većinu materijala koji su se koristili za izradu reznih oštrica, tako da danas u drvenoj industriji prevladavaju alati čija je oštrica izrađena od tvrdog metala (slika 12.). Stoga ovi alati podnose teže uvjete rada, odnosno, rade na većem broju okretaja (do 24000 o/min) i većim posmacima (30-70m/s). Osim što se dobro ponašaju prilikom obrade, tvrdi metali imaju još dobrih svojstava kao što su visoko talište, dobra otpornost na nagle promjene temperature, otpornost na koroziju, visoki modul elastičnosti, visoka električna i toplinska vodljivost itd.



Slika 12. Tvrdi metal (lijevo), glodalo s lemljenom pločicom od tvrdog metala (desno)

Tvrdi metali za rezne alate dijele se u tri grupe: K, M, P. Za drvenu industriju najznačajniji su tvrdi metali grupe K, a koriste se i oni grupe M. Tvrdi metali grupe K

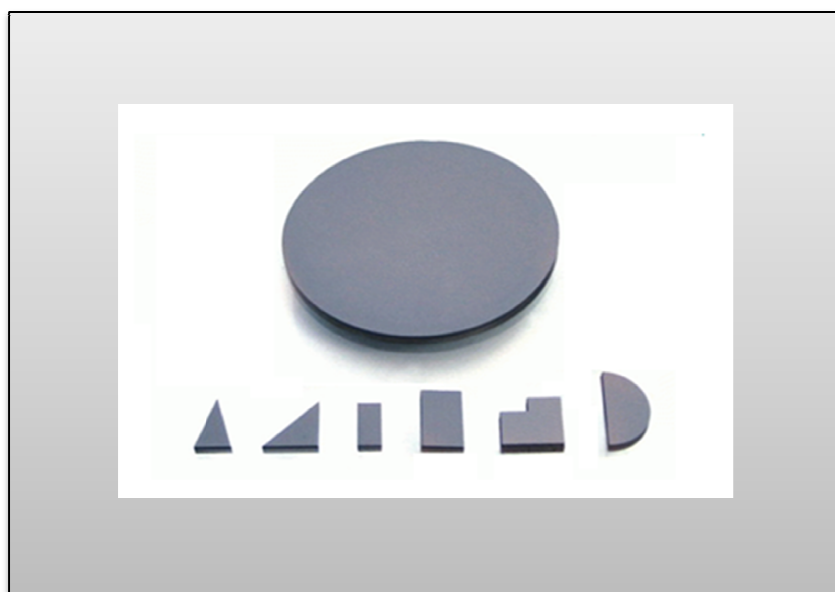
imaju kemijski sastav od oko 90% volfram karbida (WC), 0.5 do 1.0% tantalovih karbida, a ostatak čini kobalt koji je ujedno i vezivo. [4]

Tvrdoća takvog materijala iznosi približno 90 HRC-a. Usporedbe postojanosti rezne oštrice izrađene od tvrdog metala u odnosu na brzorezne čelike su uvelike na strani tvrdih metala. Neka istraživanja su pokazala da, npr., kod obrade drva glodanjem, omjer postojanosti oštrice je 1:20 u korist tvrdog metala. To omogućuje manji broj izmjene alata i veće razdoblje od oštrenja do oštrenja.

3.3.4. Polikristalni dijamant (PCD)

Krajem šezdesetih godina prošlog stoljeća po prvi puta proizveden je "sintetički" dijamant, poznat kao polikristalni dijamant. Proizveden je iz finog dijamantnog praha i praha volfram-karbida pod ekstremno visokom tlakom i temperaturom od otprilike 1415°C. Pod takvim uvjetima stapaju se pojedine dijamantne čestice oblikujući na taj način jedinstvenu čvrstu masu. Promatranjem strukture polikristalnog dijamanta pod mikroskopom uočljiva su sitna dijamantna zrnca zbijena zajedno.

Prema veličini tih zrnaca polikristalni dijamant je podijeljen uobičajeno u četiri kategorije: super fino (1 – 2 μm), fino (5 – 7 μm), srednje (12 – 25 μm) i grubo (40 – 45 μm). Ovisno o primjeni, odnosno o vrsti materijala koji se obrađuje i željenoj kvaliteti obrade, odabire se jedna od ovih kategorija zrnatosti.



Slika 13. Pločice PCD-a

Isporuka PCD-a vrši se u kružnom obliku (slika 13.) iz kojeg se izrezuje rezna oštrica ovisno o dimenzijama koje su karakteristične za određeni alat.

U proteklih 30 godina potrošnja industrijskih dijamantata stalno raste. Prema sadašnjoj procjeni godišnji prirast iznosi otprilike 25 do 30 %. Razlozi za to su jasni jer su se dijamantni alati zbog svojih tehničkih karakteristika pokazali vrhunski za izradu reznog alata. Postignuti rezultati i usporedbe isplativosti s alatima od tvrdog metala su dokaz značajne isplativosti polikristalnih dijamantata.

Upotreba alata s dijamantnom oštricom prikladna je za sve vrste obrade drva i umjetnih materijala na bazi drva, lakih metala i plastike. Neophodna je tamo gdje je potrebna kombinacija kvalitete obrade, visoke produktivnosti i niskih troškova proizvodnje. Kao svi tvrdi materijali tako i industrijski dijamanti pokazuju stanovitu krhkost, zato se konstantni visoki učinak alata može postići ako je stroj na koji su montirani alati u besprijekornom stanju.

Od odlučujućeg značaja za to je stabilnost stroja i visoka preciznost uravnoteženja osi držača alata, kako bi se izbjegle štetne vibracije koje krajnje nepovoljno djeluju na radno stanje i sposobnost dijamantnih alata. Dijamantni alat zadržava svoju oštricu nepromijenjenu dugo vrijeme i tako omogućuje dugu i neprekinutu proizvodnju, nasuprot slijedu izmjena alata, a s time i prekidom proizvodnje koja se događa kod alata s oštricom od tvrdog metala. Oštrenje takvog alata je potrebno ako je rezni brid istrošen do 0.05 mm. Kod veće istrošenosti ili kod lomljenja rezne oštrice, oštećeni brid se mora zamijeniti i alat zatim naoštрити.

3.3.5. Monokristalni dijamant (MCD)

MCD je monokristal ograničene veličine i to je najtvrdi od svih materijala koji se koristi za izradu rezne oštrice zbog najvećeg otpora na abraziju. Mogu se dobiti izuzetno glatke i oštre površine rezne oštrice prilikom oštrenja takvog materijala budući da ne postoje granice između zrna. Prilikom obrade MCD-a mora se paziti da se odredi pravilan kut oštrice. Razlog tome je što takav materijal ima vrlo visoku tvrdoću, ali je krhkost vrlo velika, pa je potrebna stabilna oštrica s velikim kutom klina ($\beta=75^\circ \dots 90^\circ$). Kao rezultat toga, primjene MCD-a su ograničene, npr. koriste se za obradu visoko poliranih rubova na pleksiglasu, neželjeznih metala i visoko abrazivnih podnih laminata. [28]

3.3.6.CVD dijamant

CVD dijamant (Chemical vapour deposition) dobiva se postupkom prevlačenja tj. kemijskim prevlačenjem iz parne faze. Postoje dvije vrste debljine prevlaka od CVD-a, a to su tanki i debeli sloj. Deblji sloj ima debljinu od nekoliko desetinki milimetara. To su pločice koje su cijele izvedene od CVD-a, zatim se leme na alat i poslije se oštrenjem oblikuju u rezu oštricu. Tanke debljine sloja su prevlake CVD-a od nekoliko tisućinki milimetara koje se nanose direktno na rezu oštricu od npr. volfram karbida, i time se dobiva izuzetno tvrdi sloj otporan na trošenje.

CVD dijamanti se sastoje od puno malih, zajedno sraštenih (bez veziva), dijamantnih zrnaca. Upotreba CVD-a kao materijala za rezne alate nije raširena, takav postupak je još u razvoju. Do sada se nanošenje prevlaka pokazalo dobro na alatima s kompliciranom geometrijom rezne oštrice.

Najveći nedostatak CVD dijamantnih prevlaka je u tome što se prilikom nanošenja prevlake ne dobije oštar rub već se dobije zaobljenje od nekoliko stotinki milimetra. To nije dobro jer se ne može dobiti dovoljno fina obrada. Uslijed CVD prevlačenja dolazi i do pogoršanja hrapavosti površine, što isto utječe na kvalitetu obrađene površine, a to se rješava naknadnim poliranjem, tj. skidanjem znatnog dijela ionako tankog sloja prevlake. Za sada se ovaj materijal koristi za grubu obradu neželjeznih materijala, pločastog materijala s raznim prevlakama, pleksiglasa, kompozitnih materijala itd. [28]

4. POLIKRISTALNI DIJAMANT (PCD)

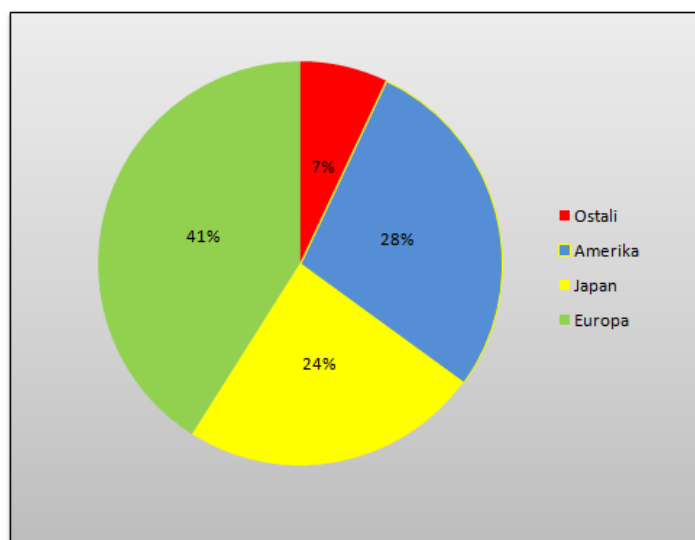
U ovom poglavlju opisat će se povijesni razvoj, proizvodni proces te karakteristike polikristalnog dijamanta u odnosu na druge materijale reznih oštrica.

4.2. Povjesni razvoj PCD-a

Prve umjetne dijamante je sintetizirao Henry Moissan 1893. godine zagrijavanjem ugljena na visoke temperature pomoću željeza u električnoj peći, u kojoj se stvara električni luk između šipki željeza postavljenih unutar blokova ugljika. Željezo stegnuto brzim hlađenjem stvara veliki pritisak potreban za pretvorbu grafita u dijamant. Ovaj eksperiment je uspješno ponovio Ruff 1917. godine što je rezultiralo proizvodnjom jako malih dijamanta (najveći među njima je bio velik 0.7 milimetara). Godine 1926. Dr. Willard Hersey sa sveučilišta McPherson je pročitao novinarski članak o Moissan-ovu i Ruff-ovu eksperimentu i ponavljajući njihov rad proizveo je sintetički dijamant. Taj dijamant je i danas izložen u McPherson muzeju u Kansasu. Prva uspješna komercijalna proizvodnja sintetičkog dijamanta u svijetu počela je 16. veljače 1953. godine u Stockholmu u Švedskoj kad je najveća švedska kompanija za proizvodnju električne energije (ASEA-a) započela Quintus projekt. Inženjeri Baltazar von Platen i Anders Kämpe su konstruirali uređaj s glomaznim polutkama unutar kojega su na sat vremena uspjeli održati tlak od 83000 atmosfera (8.4 gigapaskala). Proizveli su nekoliko malih kristala dijamanta. Njihovo otkriće je zadržano u tajnosti. Godinu dana kasnije Tracy Hall iz General Electric (GE) korištenjem precizno pojasne sprave, samostalno je sintetizirao dijamant i brzo objavio rezultate u časopisu Nature. Budući da je ASEA projekt bio glomazan i neekonomičan, a nisu patentirali svoje otkriće i objavili u znanstvenoj literaturi sve do sedam godina kasnije, zasluge za otkriće danas se pripisuju Hall-u.

Ovime je počela industrijska proizvodnja dijamanta koju su desetljećima predstavljale dvije velike kompanije: GE Superabrasives i De Beers Industrial Diamonds. Kasnije se pojavljuju novi konkurenti Iljin Diamonds, Mega Diamonds i mnogi drugi.

Godine 2002. De Beers Industrial Diamonds je promijenio ime u Element Six i počeo je djelovanje kao nezavisna kompanija od De Beers-a. Godine 2003. GE je prodao GE Superabrasives privatnoj tvrtci Littlejohn i preimenovao ju u Diamond Innovations.



Slika 14. Udio proizvodnje PCD-a u pojedinim zemljama

Danas je dijamantna industrija tržište s godišnjim prometom od nekoliko milijardi dolara i proizvodi oko 3 milijarde karata ili 600 metričkih tona sintetičkih dijamantata. Na slici 14. prikazan je udio proizvodnje PCD-a najvećih svjetskih ekonomija. [26]

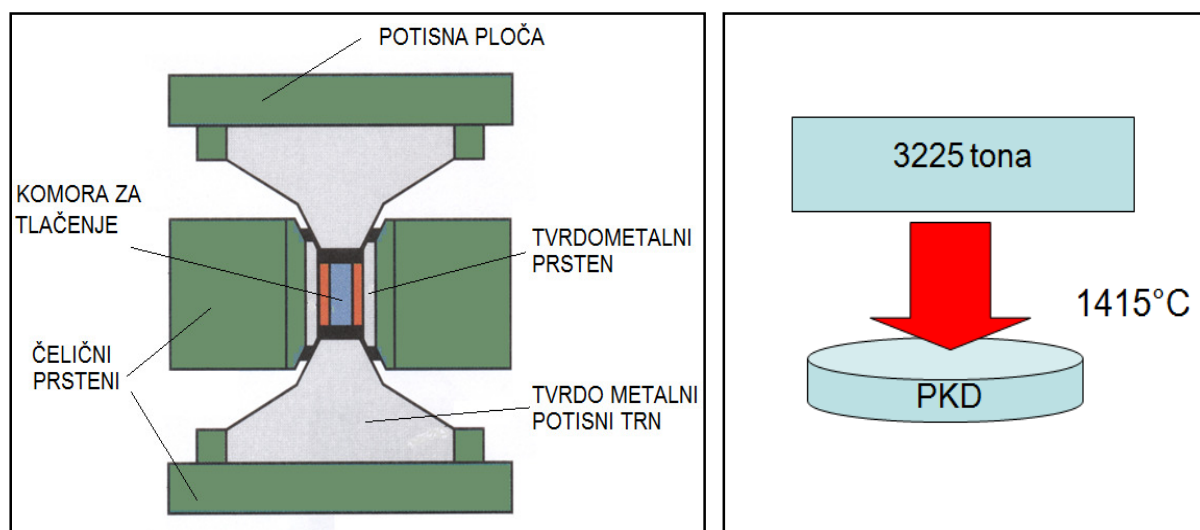
4.3. Proizvodni proces

Postoje dvije glavne metode za proizvodnju sintetičkih dijamantata. Originalna metoda je «visoki tlak visoka temperatura (HPHT)» i još uvijek je najraširenija metoda zbog svoje relativno male cijene. Kod nje se koristi veliki pritisak koji može težiti nekoliko stotina tona za stvaranje tlaka od 5 Gpa na 1415 stupnjeva Celzusa koji služi za kopiranje uvjeta koji stvaraju prirodne dijamantate u Zemlji. Druga metoda, koja koristi kemijsko uklanjanje para ili CVD, je izumljena 1980. godine i općenito je metoda koja stvara ugljičnu plazmu na podlozi na koju su naneseni atomi ugljika koji formiraju dijamant. [26]

Visoki tlak, visoka temperatura (HPHT) - Postoje dva glavna načina koji se koriste za dovođenje tlaka i temperature potrebnih za proizvodnju sintetičkih dijamantata: prstenasti pritisak i kubični pritisak. Postoje i brojni drugi načini, ali niti jedan se ne koristi za industrijsku razinu proizvodnje.

Originalna General Electric inovacija koju je primjenio Tracy Hall koristi prstenasti pritisak pri čemu gornji i donji dio preše dovode tlak opterećenja i mlaz temperature u cilindar. Ovaj unutrašnji tlak je ograničen radijalno s napetim čeličnim prstenom. Varijacije pojasnog prstena koriste hidraulični pritisak za zarobljavanje unutrašnjeg

tlaka, točnije pritiska od čeličnog prstena. Glavni proizvođači danas najviše u proizvodnji koriste metodu prstenastog pritiska.



Slika 15. Postupak proizvodnje PCD-a (HPHT) [40]

Drugi tip metode je kubični pritisak. Kubični pritisak koristi šest preša koje osiguravaju pritisak istodobno na sve kubno oblikovane površine. Prvi više-prešani model je bio ustvari tetraedarska preša koja je koristila četiri preše za istiskivanje po tetraedarski oblikovanim volumenima.

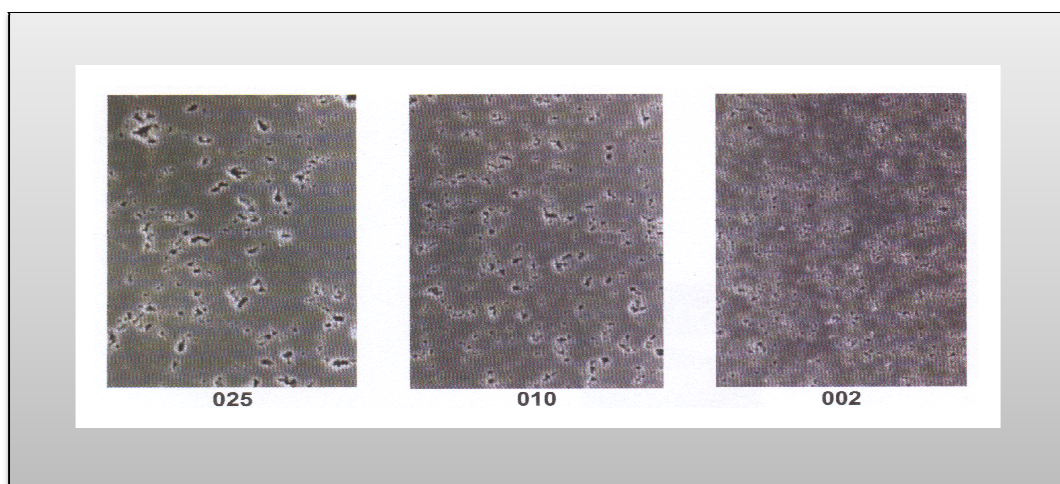
4.4. Karakteristike različitih grupa PCD-a

Karakteristike i performanse PCD-a ovise o primjeni i uvjetima eksploatacije alata, tako da se prilikom odabira PCD-a to mora uzeti u obzir.

Struktura PCD-a sastoji se od međusobno povezanih čestica dijamanta, a zahvaljujući toj strukturi PCD alati se ne troše jednako kao i alati s oštricom od tvrdog metala koji se sastoji od zrna karbida povezanih u mekanu metalnu matricu npr. kobalta. PCD se ne troši erozijom, što znači da rubovi rezne oštrice ne postaju zaobljeni i ne gube svoju formu kao alati s oštricom od tvrdog metala. Oštrica PCD alata troši se na način da se od ruba rezne oštrice odlamaju mikroskopske čestice koje čine njegovu strukturu. Ovo znači da PCD ima manju tendenciju da se progresivno zatupi. [21]

PCD postoji u rasponu standardnih veličina dijamantnih zrna 2 μm , 10 μm i 25 μm (slika 16.) i označavaju se brojevima 002, 010 i 025. Općenito, otpornost na trošenje je veća što je veličina dijamantnog zrna veća, ali zato manja zrna, tj. finija struktura zrna, omogućuje bolju obradivost tj. bolje održavanje kvalitete oštrice.

Kod PCD-a je kao i kod ostalih materijala moguće odabrati stupanj zrnatosti koji je najbolje prilagođen određenim eksploatacijskim uvjetima.

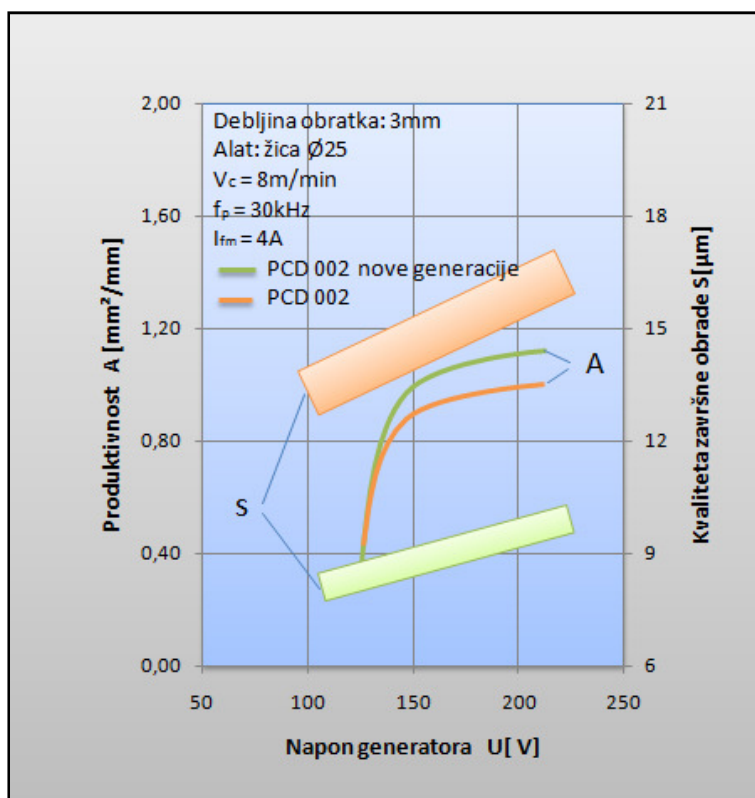


Slika 16. Veličine mikrozrna dijamanta izražene u μm [36]

Otpornost na trošenje PCD-a obrnuto je proporcionalna njegovoj obradivosti, što znači da bolju obradivost ima PCD s manjom veličinom dijamantnog zrna, ali manja veličina zrna ima manju otpornost na trošenje. Razlog tome je činjenica da je stupanj otpornosti na trošenje PCD alata određen količinom ili postotkom udjela dijamanta u zoni rezanja. Ova količina je određena veličinom dijamantnog zrna u PCD materijalu i jačini međusobnih veza koje su stvorene prilikom procesa proizvodnje sintetičkog (industrijskog) dijamanta. Veća zrna PCD-a su bolja u tom pogledu jer je rezna oštrica napravljena od čestica dijamanta međusobno povezanih jačim vezama što rezultira jačim otporom na trošenje. Znatna razlika između karakteristika jačih struktura (koji se sastoje od većih dijamantnih zrna) i onih finijih (odnosno onih koji imaju slabiju otpornost na trošenje) se može primijetiti samo kada dođe do preopterećenja na vrhu rezne oštrice, npr. kod jakog dinamičkog opterećenja.

U tom slučaju kada se odlomi dio rezne oštrice ne odlomi se samo jedno zrno nego više njih, a do toga dolazi zbog snažnih međusobnih veza unutar materijala, što može uzrokovati velika oštećenja na reznoj oštrici, a samim time utjecati i na kvalitetu obrade. Slični uvjeti vrijede i za obradivost različitih vrsta PCD-a postupkom

elektroerozije. Komponenta koja ima sposobnost električne vodljivosti u PCD materijalu je kobalt. Što je struktura PCD-a finija, elektroerozija djeluje jednolično raspoređeno, dok u grubljijoj strukturi postoje veća zrna koja djeluju kao izolatori i predstavljaju prepreku elektroeroziji pa je i obrada sporija. [24]

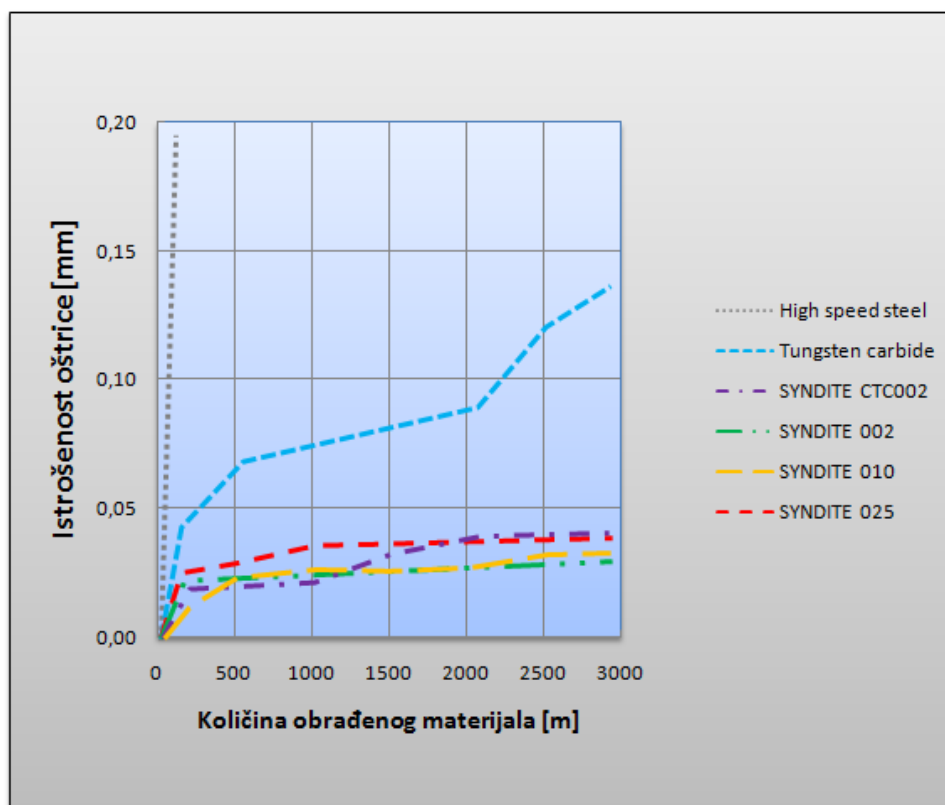


Slika 17. Usporedba obradivosti različitih vrsta PCD-a [21]

U uvjetima sve jače potražnje za PCD-om u drvenoj industriji, asortiman PCD-a je još više proširen kako bi zadovoljio zahtjeve industrije. Proizvođači PCD-a su razvili fino zrnati stupanj PCD-a 002, koji je sada optimiziran na način da se može još lakše obrađivati elektroerozijom. Iako ima smanjenu otpornost na trošenje, smanjena je i mogućnost lomljenja ruba oštrice. Više od dvije godine praktičnih i laboratorijskih ispitivanja modifikacija PCD-a 002 je dovela do proizvodnje nove vrste PCD-a 002. Ovo je omogućeno optimiziranjem uspješnih karakteristika standardnog proizvoda kako bi se udovoljilo zahtjevima tržišta:

- sitno-zrnata kompozitna struktura,
- pojačana električna vodljivost,
- sposobnost otpora na trošenje koja više teži zaobljenju ruba oštrice alata nego lomljenju ruba oštrice.

Zbog svoje visoke električne vodljivosti, obrada elektroerozijom PCD-a 002 nove generacije, u rezanju i obradi rezne oštrice puno je lakša i donosi bolje rezultate (slika 17.). Može se postići brže uklanjanje materijala i bolja kvaliteta završne obrade rezne oštrice alata.



Slika 18. Otpornost na trošenje pojedinih vrsta PCD-a [21]

Na dijagramu (slika 18.) su prikazani rezultati testova rezanja na ploči vlaknatici srednje gustoće (MDF) koji su provedeni na alatima s oštrocama od različitih materijala kao što su tvrdi metal i brzorezni čelik te nekoliko tipova PCD oštrica. Osim očite prednosti PCD-a što se tiče vijeka trajanja alata, trošenje oštrice je vrlo malo i po cijeloj dužini oštrice je jednako. Smanjena sklonost lomljenju ruba oštrice također olakšava izračun vijeka trajanja alata od novog tipa PCD-a jer se alat troši na jednoličan način. Ovo ima veliku prednost kod rotacijskih alata s više reznih oštrica (glodala, kružne pile koje se koriste u obradi drva) jer omogućuje minimalno uklanjanje materijala prilikom oštrenja. To omogućuje da se alat može oštriti više puta. Upotreba PCD-a 002 nove generacije, prema tome, ima veliku prednost u smislu obnavljanja reznih performansi alata. [21]

4.5. Prednosti PCD alata

Moderna tehnologija finalne obrade drva, posebice kompozitnih materijala, danas je nezamisliva bez PCD-alata. Čak se može utvrditi da neki popularni proizvodi današnjice, npr. laminatni podovi, ne bi ugledali "svjetlo dana" da nije bilo dijamanta. Njihove prednosti dolaze do izražaja upravo pri teškim i delikatnim obradama tvrdog i egzotičnog drva s mnogo mineralnih tvari, koje brzo tupe čelične i TM-oštrice. Obrada višeslojnih kompozitnih materijala – iverice, melaminske folije (tzv.dekori), HDF-a, MDF-a, uslojenog lijepljenog drva (šperploče, furnirane ploče) te kombinacija drvo-plastika, drvo-aluminij, drvo-guma i sl. nezamisliva je bez PCD-alata. Odlični su se pokazali za rad na svim obradnim centrima, formatizerima, raskrajačima ploča i kantericama. Osim za obradu drva, PCD je pogodan za obradu plastike, obojenih metala, gipsanih ploča, umjetnog mramora i stakla te u automobilske industriji. Glavna prednost alata s PCD oštricama u odnosu na alate s TM oštricama je u njegovoj trajnosti koja je mnogo puta veća što se može vidjeti iz slijedeće tablice.

Alat	Oštrica od TM (prerezani metri)	Oštrica od PCD (prerezani metri)	Trajnost oštrice PCD : HW	Omjer cijene PCD : HW
Kružne pile	2,500 m	400,000 m	160 : 1	18 : 1
Glodalo na držki - ravna	3,000 m	50,000 m	17 : 1	5 : 1
Glodalo za ravnjanje	6,000 m	350,000 m	58 : 1	3 : 1

Tablica 3. Usporedba PCD-a i TM-a [21]

U tablici 3. uspoređuje se prosječni vijek trajanja alata s reznom oštricom od PCD-a i alata s reznom oštricom od HW-a. Podaci se odnose na metar ravnog reza materijala na bazi drva, u ovom slučaju MDF-a. Podaci za ovu tablicu preuzeti su od najvećeg svjetskog proizvođača sintetičkog dijamanta, "ElementSix". U tablici je za neke primjere alata prikazan omjer metara reza alata s oštricom od tvrdog metala i oštricom od polikristalnog dijamanta, kao i omjer početne cijene. Kada se usporedi omjer cijena s omjerom metara reza vidi se značajna isplativost PCD alata naspram alata od tvrdog metala.

Jedna od velikih prednosti dijamantnih alata je ta da zbog svoje izuzetno velike tvrdoće oštrice takvih alata ostaju nepromjenjene dugo vrijeme. Time je omogućena duga i neprekidna proizvodnja, nasuprot čestih izmjena alata, a time i prekida proizvodnje, koji se događaju kod alata s oštricom od tvrdog metala.

4.6. Održavanje alata s PCD oštricom

Zbog toga što je dijamant poznat kao najtvrdi materijal i od PCD-alata za obradu drva očekuje se velika otpornost na oštećenja (od slučajnih udaraca tijekom rukovanja ili stranih metalnih tijela u obratku). To su nerealna očekivanja jer zbog iznimno tankog sloja PCD-a na oštrici alata (oko 0,5 mm) i samog kuta oštrice, alat je zapravo vrlo krhak.

Potrebno je također i da se PCD alati balansiraju po višem razredu točnosti tako da se ne javljaju opasna udarna opterećenja koja izaziva centrifugalna sila neuravnoteženog alata te da se strogo kontroliraju na elektroničkim optičkim instrumentima. Pridržavanjem ovih pravila za ispravno korištenje dijamantnih alata osigurava se vrlo velika trajnost.

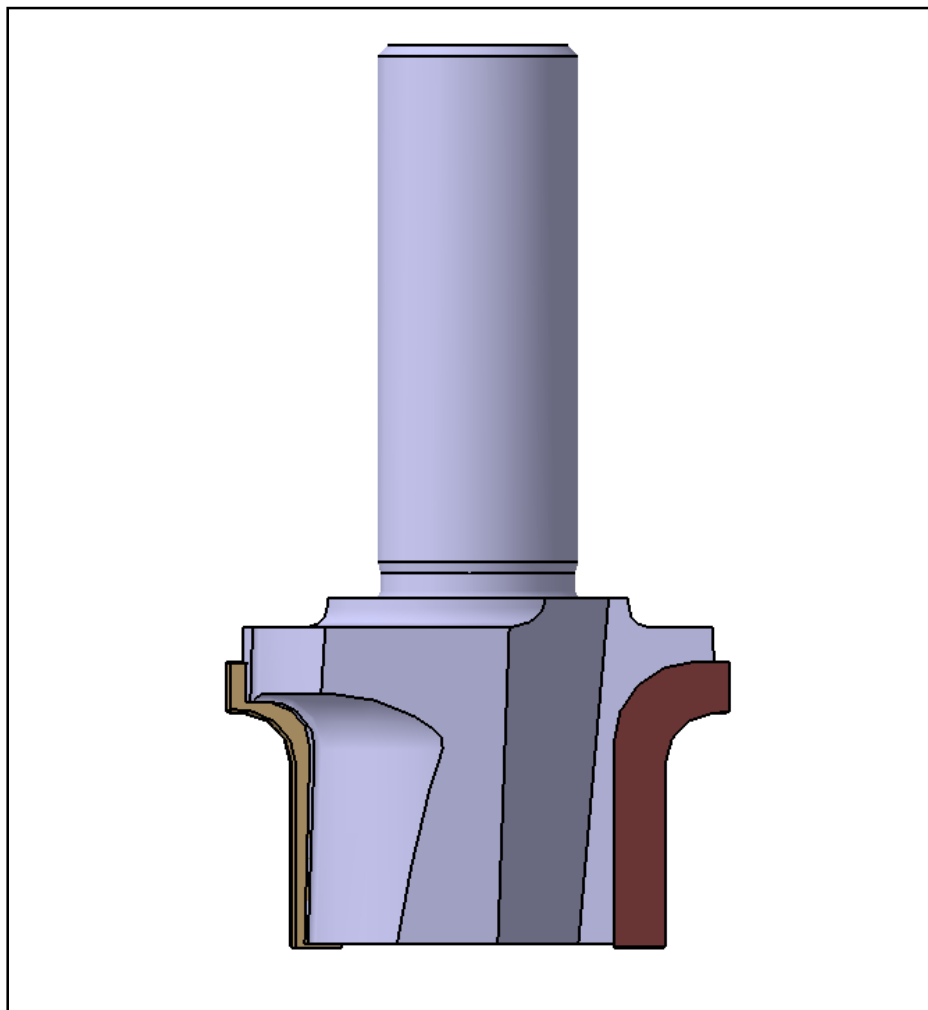
Zahvaljujući električnoj vodljivosti PCD-a, oštrenje dijamantnih alata obavlja se pomoću elektroerozije, tj. pomoću erozije koju stvara precizno definirana električna iskra nastala elektropražnjenjem na rubu specijalnog bakrenog materijala koji može biti u obliku diska ili izveden kao žica. Strojevi koji imaju bakreni disk koriste se većinom samo za oštrenje alata zbog geometrije samog diska, dok se sa strojevima koji koriste žicu kao elektrodu mogu uz oštrenje raditi i novi alati. Žica kao elektroda omogućuje preciznu obradu gotovo svih vrsta profila alata, a isto tako mogu se i izrezivati PCD pločice za potrebe izrade novog alata.

5. POSTUPAK PROIZVODNJE GLODALA S OŠTRICOM OD POLIKRISTALNOG DIJAMANTA

Alat za obradu drva s oštricom od polikristalnog dijamanta, čija će izrada biti opisana, sastoji se od dva dijela, a to su tijelo glodala i rezna oštrica koji su povezani postupkom tvrdog lemljenja i čine jednu cjelinu.

Postupak proizvodnje glodala koje je prikazano na slici 19. sastoji se od nekoliko faza, a to su:

1. konstrukcija,
2. tehnološki postupak izrade po fazama,
3. kontrola (nakon svake operacije tijekom postupka izrade i završna kontrola).



Slika 19. Glodalo s drškom 3D model

5.1. Konstrukcija glodala

U suvremenom svjetskom gospodarstvu u kojem potražnja diktira i usmjerava ponudu, proizvođači moraju biti u mogućnosti prepoznati i ispuniti želje potrošača kako bi opstali na tržištu. Ova situacija je prisutna u gotovo svim granama industrije, od informatičke i telekomunikacijske do metalurške i drvne industrije. Proizvođači koji se vode ovim principom, imaju u vidu da je uska specijaliziranost u proizvodnji i prepoznavanje potrebe potrošača (koji se mijenjaju iz dana u dan), put prema uspjehu u tržišnoj utakmici.

Razvojem drvne industrije u proizvodnju namještaja su se počeli uvoditi novi materijali na bazi drva kao što su iverica, ploče vlaknatice (MDF, lesanit, HDF), OSB ploče te neki drugi kao aluminij, kompakt (HPL), pleksiglas, kerok itd.

Zbog njihovih abrazivnih svojstava pojavila se potreba za novom generacijom alata čiji bi vijek trajanja oštrice bio duži od prethodno poznatih (HSS, HW).

Sve gore navedeno rezultiralo je pojavom polikristalnog dijamanta koji je zadovoljio potrebe za kvalitetom obrađene površine i trajnosti oštrice.

Izbor materijala i pravilna konstrukcija alata imaju veliki utjecaj na kvalitetu obrađene površine, ali i na cijenu nekog proizvoda kako bi se pravilno konstruirao alat za obradu drva potrebno je uzeti u obzir sljedeće faktore:

1. obradak – potrebno je poznavati karakteristike materijala koji se obrađuje (u našem slučaju MDF),
2. proizvodnu količinu,
3. stroj na kojem će se obrađivati.

Isto tako svaki rezni alat mora ispuniti nekoliko uvjeta:

1. zadovoljiti zahtjeve iz norme HRN EN 847-2 koja se odnosi na alate za glodanje s drškom,
2. skinuti određeni sloj materijala,
3. osigurati zadane dimenzije i geometriju izratka kao i kvalitetu obrađene površine,
4. osigurati postojanost i trajnost oštrice (visoka tvrdoća i žilavost),
5. imati prihvatljivu cijenu.

5.1.1. Materijal obradka MDF

Materijal MDF (*Medium Density Fiberboard*) tj. ploča vlaknatica srednje gustoće, odnosno materijal koji je kod nas poznat kao medijapan proizvodi se suhim postupkom te mu je lice i naličje glatko.

U početku su se za izradu MDF-a koristili isključivo šumski sortimenti četinjača i mekih listača što je ujedno bio ograničavajući faktor kod razvoja tih ploča. Danas je MDF opći pojam za pločasti materijal sačinjen od lignoceluloznih vlakana u kombinaciji s umjetnom smolom ili nekim drugim pogodnim sustavom koji se potom lijepe pod utjecajem topline i tlaka. Tijekom proizvodnje mogu se dodavati aditivi radi poboljšanja određenih svojstava. Isto tako u novije vrijeme koriste se i celulozne vlaknaticе jednogodišnjih biljaka kao što su konoplja, lan, pamuk te stari papir, karton i novine (slika 20.) što je dobro s aspekta zaštite okoliša. Nekada se ovi materijali nisu koristili u izradi MDF-a, ali današnja tehnologija nam to dozvoljava. Budući da se vlaknaste ploče mogu rezati u širokom rasponu veličina i oblika, primjene su im razne, uključujući i industrijsku ambalažu, kuhinjske elemente, kupaonski namještaj, ormare, namještaj općenito, zatim pregrade, kalupe, vrata i dr.

Površina MDF-a je ravna, glatka, gusta i bez čvorova zbog čega je završna obrada lakša i kvalitetnija. Kompozitne ploče od MDF-a proizvode se u velikom rasponu debljina najčešće od 4 do 40mm. Materijal je pogodan za obradu odvajanjem čestica. Otpad stvoren u fazi dorade materijala također je značajno manji pri korištenju medijapana naspram drugih materijala. Poboljšana stabilnost i čvrstoća su važne karakteristike medijapana uz izraženu konstantu održavanja precizne tolerancije gustoće i kvalitete rezanih ploča. Pločasti materijal načinjen od medijapana odlična je zamjena punom drvetu pri uređenju interijera zbog svojih fizikalnih karakteristika, cijene, ali i aspekta očuvanja okoliša. [35]



Slika 20. Sirovina za izradu MDF-a

Proizvodnja MDF ploča (slika 21.) sastoji se od sljedećih koraka: priprema sirovine, sjeckanje, skladištenje sječke, frakcioniranje sječke na sitima, pranje sječke, razvlakivanje uz dodavanje parafina ili voska, sušenje vlakana s nanošenjem ljepila, uskladištenje vlakana, formiranje vlaknastog tepiha, pretprešanje, vruće prešanje, hlađenje, formatiranje i brušenje. [12]

Vrlo veliki napredak tehnologije i tehnoloških procesa doveli su do unapređenja kvalitete medijapana i pločastih materijala općenito. Veliki napredak se dogodio u pripremi drveta, receptima za smolu, tehnologiji prešanja i brusnim tehnikama. Napredna tehnologija preše je skratila ukupni ciklus prešanja, dok je antistatička tehnologija također doprinijela povećanju životnog vijeka brusnih traka tijekom procesa brušenja.



Slika 21. Proizvodni proces MDF-a

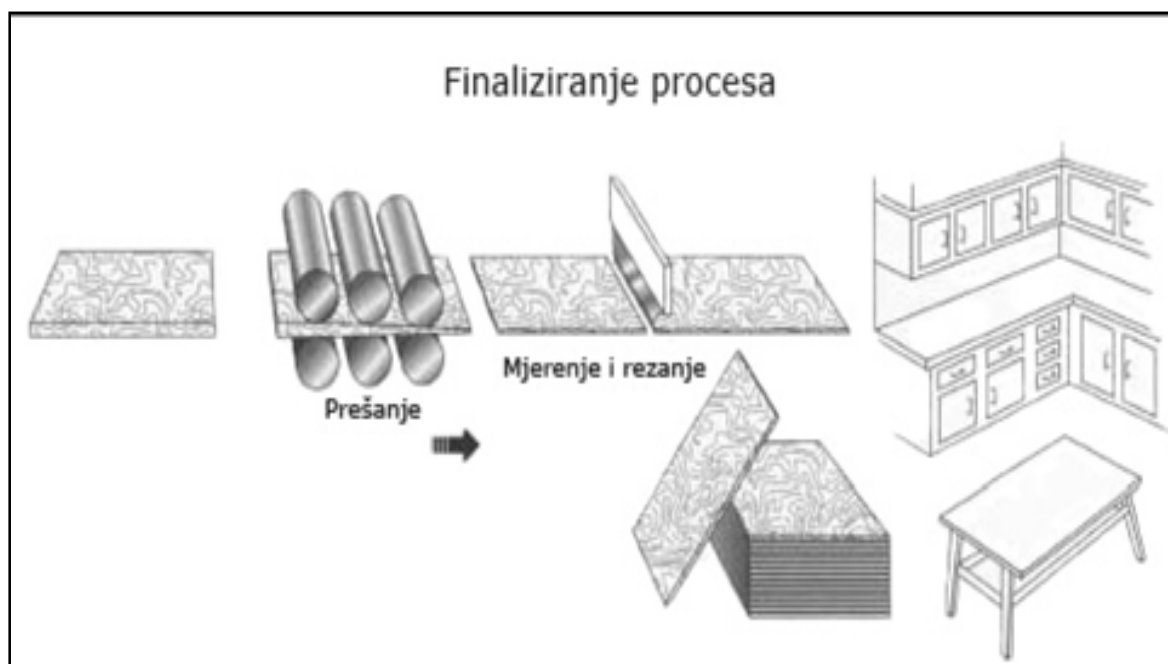
Izrada kvalitetnog pločastog materijala počinje kvalitetnim izborom i preradom sirovina, od kojih se većina reciklira iz komadića drveta i strugotina iz pilana, te pogona za proizvodnju šperploča. Iz sirovine se pomoću magneta prvo uklanjaju metalne nečistoće.

U sljedećem koraku materijal se dijeli u velike komade i male ljuskice. Ljuskice se dijele na piljevinu i drvene komadiće. Materijal se opet šalje kroz magnetski detektor, te se odbačeni materijal odvaja da bi se ponovno upotrijebio kao gorivo. Kvalitetni materijal se prikuplja i šalje u komoru za napanjanje. U komori se ubrizgava para kako bi zagrijala i omekšala materijal. Materijal se potom prebacuje u niz zavrtnja

(zapornih vijaka) koji miješaju i gnječe materijal te pritom uklanjaju višak vlage i vode. Komprimirani materijal se potom ubacuje u mješalice koje izmrve materijal u vlakna za uporabu. Ponekad vlakna mogu proći korak rafiniranja više puta kako bi se poboljšala čistoća.

Smola se dodaje prije koraka prerade radi kontrole tolerancije formaldehida u smjesi, a nakon prerade dodaje se katalizator. Smjesa se potom suši grijačima baziranim na ulju ili plinu. Omjer smole i vlakna pažljivo se kontrolira vaganjem svakog sastojka. Takva smjesa prolazi kroz nekoliko koraka u prešanju kako bi se dobila željena veličina i debljina prije završnog prešanja. Preša opremljena velikim bubnjem kompresira smjesu na predodređenu debljinu precizno prateći njenu gustoću i čvrstoću. Dobivena ploča se pili na odgovarajuće dimenzije prije hlađenja.

Tako dobivene ploče bruse se trakama obloženim abrazivom (slika 22.) kako bi se postigla glatka površina, zbog čega se najčešće koriste keramički abrazivi i aluminijev oksid. Kako bi se uklonio statički elektricitet koji doprinosi gomilanju piljevine koriste se antistatičke tehnologije.



Slika 22. Finaliziranje procesa izrade MDF-a

U proizvodnji medijapana prati se svaki korak u cilju održavanja konstantne kvalitete proizvoda. U kombinaciji s uređajima za nadzor težine, debljine, čvrstoće i gustoće uspješno se održava kontinuirana kvaliteta proizvoda uz minimalnu količinu ispušnih plinova formaldehida.

5.1.1.1. Svojstva materijala obradka

Materijal obradka je MDF 2S2 (oznaka 2S2 znači da je ploča glatka i s donje i s gornje strane). Osnovna svojstva MDF ploča koje će se obrađivati u ovom slučaju (tablica 4.) su zatvorena homogena struktura površina i profila, visoka čvrstoća u svim smjerovima, dobra obradivost i mogućnost oblikovanja.

Svojstva MDF ploča	Debljina ploče	
	OD 19mm DO 30mm	
Ploča vlaknatica za opću uporabu u suhim uvjetima (tip MDF)		
Gustoća, kg/m ³	800	
Debljinsko bubrenje, 24h(%)	10	
Čvrstoća raslojavanja, N/mm ²	0,55	
Savojna čvrstoća, N/mm ²	18	
Modul elastičnosti pri savijanju, N/mm ²	2100	

Tablica 4. Svojstva MDF ploča [12]

Osnovne prednosti MDF ploča su (slika 23.): [12]

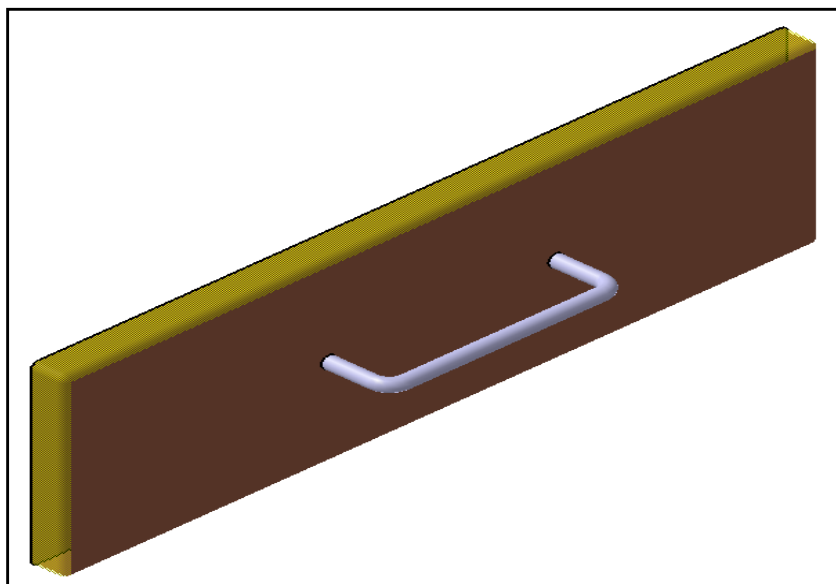
- kompozitnost ploče koja omogućuje strojnu obradu i finišenje kakvo je moguće jedino s masivnim drvom,
- velike površine visoke glatkoće,
- dobra mehanička svojstva podjednaka u svim smjerovima,
- najbolja zamjena za masivno drvo,
- mogućnost direktnog lakiranja,
- mogu se izraditi ploče tražene kvalitete za specijalne proizvode,
- konkurentnost cijene.



Slika 23. MDF ploče

5.1.2. Proizvodne količine

Proizvodna količina pored materijala obradka i vrste stroja na kojemu će alat raditi određuje materijal rezne oštrice. Ovisno o tome radi li se o pojedinačnoj, serijskoj ili masovnoj proizvodnji, bira se najpovoljniji materijal koji će odgovoriti ovakvim zahtjevima. Ako se radi o pojedinačnoj proizvodnji prednost se daje glodalima s oštricom od tvrdog metala ili brzoreznog čelika ovisno o materijalu koji će se obrađivati. Ako se radi o serijskoj proizvodnji najčešće se preporučuju glodala s izmjenjivim pločicama od tvrdog metala ili glodala s reznom oštricom od polikristalnog dijamanta (PCD). U slučaju masovne proizvodnje glodala s reznom oštricom od PCD-a logičan su izbor. Kupac u ovom slučaju ima serijsku proizvodnju, materijal obradka medijapan i CNC nadstolnu glodalicu. Iz gore navedenih razloga oštrica glodala bit će od polikristalnog dijamanta. Kupac osim materijala obradka, proizvodnih količina i stroja na kojem će se vršiti obrada mora navesti i moguća ograničenja koja bi mogla imati utjecaj na dimenzije budućeg glodala. Zato je potrebno da kupac priloži tehnički nacrt obradka na kojem će se jasno vidjeti postoje li takva ograničenja. Ovo glodalo obrađivat će vanjski rub ladice dimenzija 500x150x22 mm koja je prikazana na slici 24.

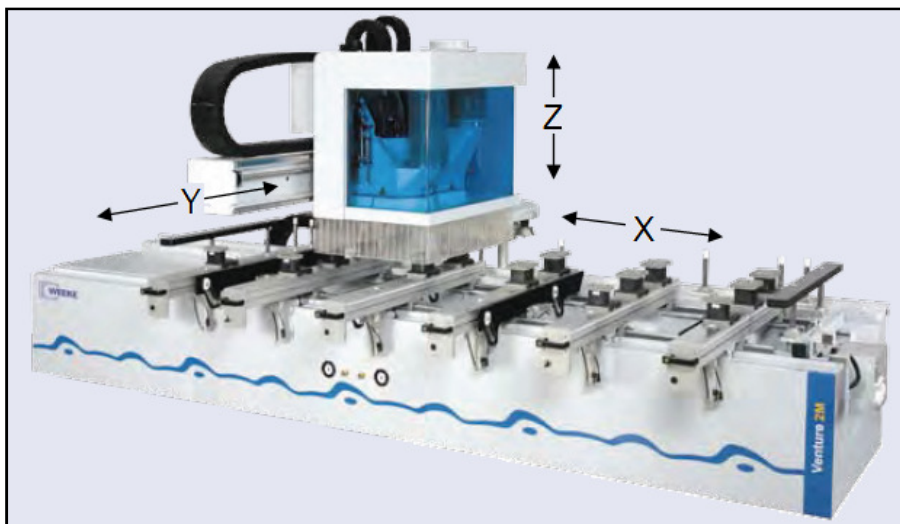


Slika 24. Ladica 500x150x22 - alat obrađuje rub ladice označen žutom bojom

U ovom konkretnom slučaju nikakva ograničenja ne postoje, osim što kupac zahtijeva da maksimalni promjer glodala bude 50 mm zbog moguće primjene glodala kod izrade drugih proizvoda gdje veći promjer nije moguć zbog njihove konfiguracije.

5.1.3. Stroj na kojemu će se koristiti alat

Stroj na kojem se vrši obrada je numerički upravljana nadstolna glodalica „Weeke Venture 2“ (slika 25.). Glavni djelovi stroja su radni stol sa pneumatskim sustavom za stezanje obradka (drva) i konzola s tri stupnja slobode gibanja (x,y,z) na kojoj se nalazi glavno vreteno stroja. Glavno vreteno prihvaća HSK 63 F prihvate u koje se steže alat, u ovom slučaju glodalo.



Slika 25. CNC nadstolna glodalica „Weeke Venture 2“

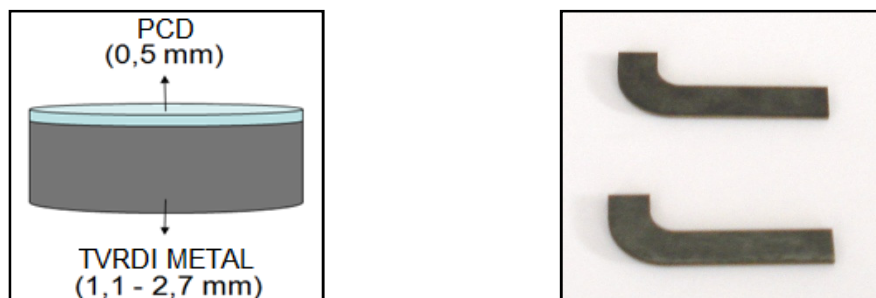
Tablica 16. je uzeta iz radnih uputa za stroj. Iz nje se jasno vide neki ograničavajući faktori koji imaju veliki utjecaj na izvedbu samog glodala. Tako npr. promjer drške glodala mora biti između 2 i 25 mm, masa glodala s prihvatom ne smije prelaziti 4.5 kg, klasa balansiranja alata mora biti G 6.3, a max. broj okretaja 24000 o/min.

Karakteristike stroja	Vrijednosti
Snaga glavnog vretena	9 kW
Maksimalni broj okretaja glavnog vretena	24000 o/min
Vrsta prihvata koje prihvaća glavno vreteno	HSK 63F
Promjer drške	2....25 mm
Maksimalna masa alata s prihvatom	4.5 kg
Klasa balansiranja prihvata alata	G = 2.5
Klasa balansiranja alata	G = 6.3
Ekscentričnost	0.02 mm
Dimenzije radnog stola	X = 3250mm, Y = 1250mm
Maksimalna debljina obradka	100 mm
Brzina posmaka	X =60m/min, Y=50m/min, Z=15m/min

Tablica 5. Karakteristike stroja na kojemu će se vršiti obrada [29]

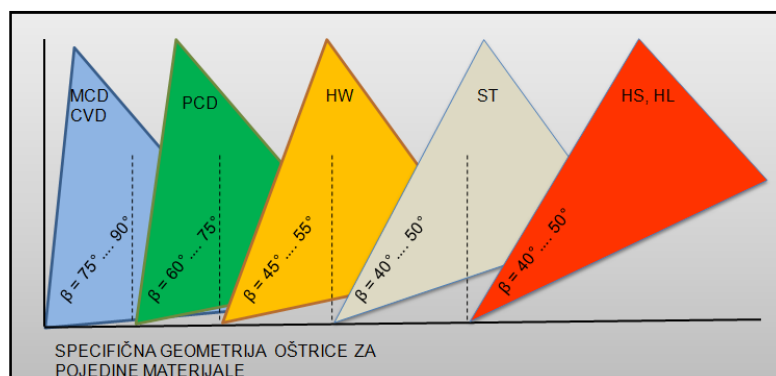
5.1.4. Određivanje rezne oštrice glodala

Prema prethodno navedenim elementima potrebnih za konstrukciju alata (obradak, proizvodne količine i stroj) logičan izbor za reznu oštricu je polikristalni dijamant. Polikristalni dijamant sastoji se iz dva dijela koji čine jednu cjelinu koja se zove PCD. Ono što ovaj materijal čini električno vodljivim je kobalt u kojem su zarobljena mikrozrna umjetnog dijamanta. Debljina sloja PCD-a je od 0,5 do 0,7 mm, a debljina volfram karbida je od 1 do 2,7 mm. Pločica PCD-a isporučuje se u obliku diska promjera 51,5 mm ili 74 mm. Iz tako isporučenog diska izrezuje se pločica ovisno o obliku i dimenzijama koje su potrebne (slika 26). Materijal koji se koristi je PCD FX 002 nove generacije. On ima fino zrnatu strukturu što znači da je veličina zrna $2\mu\text{m}$. Karakteristike ovog materijala pobliže su opisane u poglavlju 4.



Slika 26. Polikristalni dijamant (lijevo), pločice PCD-a koje se leme na tijelo glodala (desno)

Na slici 27. prikazani su kutevi klina koji su karakteristični za različite vrste materijala. Tako je kut klina za reznu oštricu od polikristalnog dijamanta između 60° i 75° . Iz slike je vidljivo da se kut klina povećava što je veća tvrdoća materijala rezne oštrice. Razlog tome je smanjenja žilavost materijala koji imaju visoku tvrdoću.



Slika 27. Karakteristični kutevi za pojedine materijale rezne oštrice [28]

Da bi spojili tijelo glodala i reznu oštricu PCD-a u jednu cjelinu koristi se srebrni sendvič lem 49/Cu debljine 0,4mm koji propisuje proizvođač lema (poglavlje 5.2.5).

5.1.5. Odabir materijala za izradu tijela glodala

Kod alata za obradu drva u primjeni je nekoliko vrsta čelika za izradu tijela što propisuje norma HRN EN 847-1. Najčešće se koriste konstrukcijski čelici za poboljšavanje.

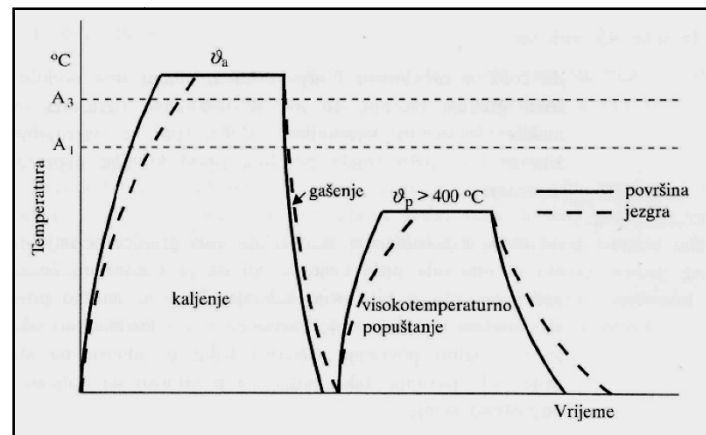
Ova skupina čelika sadrži 0,2 do 0,6 %C. Prema kemijskom sastavu ovi čelici pripadaju kvalitetnijim i plemenitijim čelicima, maseni udio nečistoća (P i S) je nizak, (kod plemenitih <0,035%). Mikrostruktura se odlikuje homogenošću i vrlo niskim udjelima nemetalnih uključaka.

Oni se podvrgavaju postupku poboljšavanja (slika 28.) što znači da se prvo kale, pa se visokotemperaturno popuštaju, a sve u cilju postizanja visoke granice razvlačenja i vlačne čvrstoće, uz visoku žilavost i dinamičku izdržljivost. Radi toga se primjenjuju za mehanički i dinamički visoko opterećene dijelove strojeva. [4]

U čelicima za poboljšavanje nalazi se niz legirajućih elemenata koji utječu na pojedina svojstva. Tako npr.

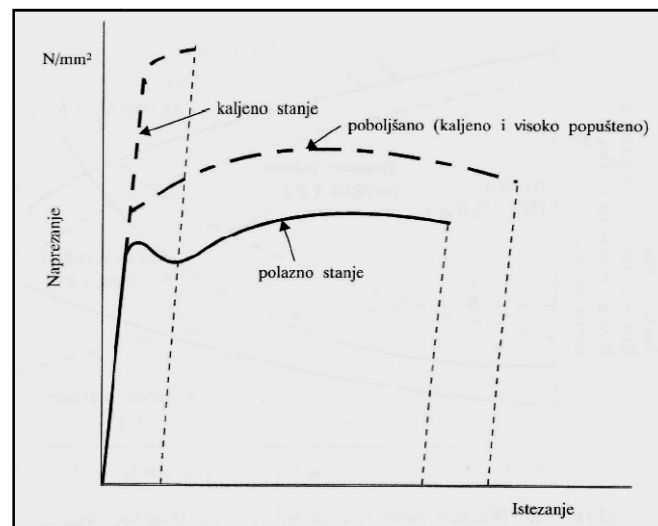
- mangan (Mn) poboljšava prokaljivost i povisuje svojstva čvrstoće,
- mangan i vanadij (Mn, V) djeluju u istom smislu kao sam Mn, ali i sprečavaju porast austenitnog zrna (pri pregrijavanju),
- mangan i silicij (Mn, Si) povisuju prokaljivost i otpornost na popuštanje,
- krom (Cr) poboljšava prokaljivost, osigurava sitnozrnatost, a time i žilavost nakon kaljenja i popuštanja,
- krom i molibden (Cr, Mo) poboljšavaju prokaljivost, poboljšavaju otpornost na popuštanje, a Mo sprečava pojavu krhkosti popuštanja,
- krom vanadij (Cr, V) poboljšavaju svojstva čvrstoće nakon poboljšavanja, poboljšava se otpornost na popuštanje i osigurava sitnozrnatost i žilavost,
- krom molibden i vanadij (Cr, Mo, V) povisuju toplinska svojstva (otpornost puzanja). [7]

Postupak kaljenja sastoji se od ugrijavanja na temperaturu austenitizacije i progrijavanja, držanja pri temperaturi austenitizacije u svrhu otapanja ugljika i legirajućih elemenata u austenitu i gašenja u svrhu postizanja martenzitne mikrostrukture.



Slika 28. Dijagram poboljšavanja [5]

Popuštanje čelika je postupak ugrijavanja kaljenog čelika na neku temperaturu ispod temperature austenitizacije (u ovom slučaju visokotemperaturno popuštanje $\vartheta > 400\text{ °C}$). Svrha popuštanja čelika je povišenje žilavosti martenzita postignutog kaljenjem, sniženje vlastitih zaostalih napreznja martenzita te postizanje dimenzijske postojanosti. Što je viša temperatura popuštanja, niže su vrijednosti vlačne čvrstoće, granice tečenja i tvrdoće, a više su vrijednosti žilavosti, istezanja i kontrakcije. Rezultat poboljšavanja (visina žilavosti i visina granice tečenja) bit će bolji što je čelik gašenjem jednoličnije prokaljen. Prokaljivost je veća što je veći maseni udio ugljika i legirnih elemenata.



Slika 29. Dijagram napreznje-istezanje [5]

Na slici 29. se vidi da čelik u zakaljenom i nepopuštenom stanju ima visoku granicu tečenja, ali mu je duktilnost slaba, pa će i žilavost vjerojatno biti niska. Čelik u poboljšanom stanju ima višu granicu tečenja nego što je ona bila prije kaljenja, ali je istezanje veće nego što je bilo prije kaljenja, stoga je površina ispod krivulje

razvlačenja znatno veća, što govori da je i žilavost veća nego što je bila prije poboljšavanja. [5]

Prilikom odabira materijala za izradu drške glodala za obradu drva ne postoje striktna pravila kojih se treba držati, a izbor materijala najviše ovisi o konstruktoru i njegovom iskustvu. Najčešće korišteni čelici su:

- nelegirani čelik C45 (Č1530) i C45E (Č1531),
- legirani s Cr-Mo 42CrMo4 (Č4732)

Ovi čelici su najzastupljeniji u izradi glodala s drškom i s provrtom, ali se moraju dodatno toplinski obraditi, odnosno, moraju se poboljšati. U knjizi koju je izdala Njemačka udruga proizvođača alata za obradu drva spominje se da je čak 90% alata izrađeno iz ove dvije vrste čelika.

Za izradu tijela glodala u ovom slučaju se uzima čelik 42CrMo4 (Č4732). Ovaj čelik se naručuje u čeličnim trupcima različitih promjera. Ovisno o promjeru čeličnog trupca mjenjaju se i pojedina svojstva materijala tako da proizvođač daje certifikat (slika 30.) na kojem se jasno može vidjeti kemijski sastav materijala i njegova mehanička svojstva za određeni promjer. U ovom slučaju promjer čeličnog trupca je 50mm.

CLIENTE		STROJOPROMET		ORDINE		243-2200-CM120020-NB		CONFIRMA		HOT ROL Q+T																																		
ACCIAIO		42CRMO4		PROFILO		T.50		COLATA		H11106105																																		
Steel		Shape		Reel		Coulée		Scorie		Lieferszustand																																		
Stahl		Profil		Section		Schnitz																																						
STEEL S.p.A. AZIENDA CERTIFICATA UNI EN ISO 9001:2008 VIA C. COLOMBO 21 29010 SARMATO (PIACENZA) TEL. 0523/886111 - FAX 0523/886298 E-MAIL: info@steelacciai.it																																												
ATTESTATO DI CONTROLLO TEST REPORT - RELEVÉ DE CONTROLE - WERKSZEUGNIS N° 2411 DATA 09.03.12																																												
COMPOSIZIONE CHIMICA % - CHEMICAL ANALYSIS % - COMPOSITION CHIMIQUE % - CHEMISCHE ZUSAMMENSETZUNG %																																												
<table border="1"> <tr> <th>C</th> <th>SI</th> <th>MN</th> <th>P</th> <th>S</th> <th>CR</th> <th>NI</th> <th>MO</th> <th>AL</th> <th>CU</th> <th>V</th> <th>NB</th> </tr> <tr> <td>42</td> <td>26</td> <td>76</td> <td>013</td> <td>027</td> <td>1.14</td> <td>04</td> <td>19</td> <td>027</td> <td>06</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> </table>												C	SI	MN	P	S	CR	NI	MO	AL	CU	V	NB	42	26	76	013	027	1.14	04	19	027	06	0	0									
C	SI	MN	P	S	CR	NI	MO	AL	CU	V	NB																																	
42	26	76	013	027	1.14	04	19	027	06	0	0																																	
DI COLATA / On heat Sur cotee / Vonder Schmelze																																												
SUL PRODOTTO / On product Sur prod. / Am Erzeugnis																																												
CARATTERISTICHE MECCANICHE - MECHANICAL PROPERTIES - CARACTERISTIQUES MECANIKES - MECHANISCHE EIGENSCHAFTEN																																												
<table border="1"> <tr> <th>TRATTAMENTO TERMICO</th> <th>Diameter</th> <th>Weight</th> <th>Diameter</th> <th>Re</th> <th>Rm</th> <th>A</th> <th>Z</th> <th>Rm/Re</th> <th>KICU</th> <th>HB</th> </tr> <tr> <th>Heat treatment / Traitement thermique</th> <th>Nominal</th> <th>Tolerance</th> <th>Actual</th> <th>Y Strength</th> <th>T Strength</th> <th>Elongation</th> <th>Reduction</th> <th></th> <th></th> <th>Brinell</th> </tr> <tr> <td>Q+T</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>889</td> <td>974</td> <td>18</td> <td>54</td> <td></td> <td>52</td> <td>298</td> </tr> </table>												TRATTAMENTO TERMICO	Diameter	Weight	Diameter	Re	Rm	A	Z	Rm/Re	KICU	HB	Heat treatment / Traitement thermique	Nominal	Tolerance	Actual	Y Strength	T Strength	Elongation	Reduction			Brinell	Q+T				889	974	18	54		52	298
TRATTAMENTO TERMICO	Diameter	Weight	Diameter	Re	Rm	A	Z	Rm/Re	KICU	HB																																		
Heat treatment / Traitement thermique	Nominal	Tolerance	Actual	Y Strength	T Strength	Elongation	Reduction			Brinell																																		
Q+T				889	974	18	54		52	298																																		
DI COLATA / On heat Sur cotee / Vonder Schmelze																																												
SUL PRODOTTO / On product Sur prod. / Am Erzeugnis																																												
ALTRE PROVE Other test Autres essais Sonstige Prüfungen						COMMENTI Remarks Remarques Andere Bemerkungen																																						
Si attesta che i prodotti sopra descritti sono conformi ai requisiti contrattuali. Come da NORME UNI EN 10204.3.1 We certify hereby that the above mentioned product are in accordance with the order prescriptions.						STEEL S.p.A. Controllo Qualità Quality control Contrôle de qualité Qualitätsabteilung mod. 214 - REV. 01																																						
PROVVERENA I ISPRAVA KOPIJA (broj otpremnice) Dina: M... Datum: ...																																												

Slika 30. Certifikat za odabrani čelik za izradu tijela glodala

5.1.6. Izrada tehničkih nacrtâ

Nakon što se definira materijal obradka, proizvodne količine, stroj na kojem se vrši obrada i uzmu u obzir ograničenja koja je postavio kupac, pristupa se izradi tehničkih nacrtâ. Budući da je vrlo teško u jednom nacrtu definirati sve potrebne dimenzije za izradu glodala, crta se više nacrtâ koji prate postupak proizvodnje glodala. Konstruktor koji izrađuje tehničke nacрте mora dobro poznavati proces proizvodnje zbog toga što svaka faza u proizvodnom procesu ima svoje specifičnosti.

Za slučaj ovog glodala konstruktor mora izraditi:

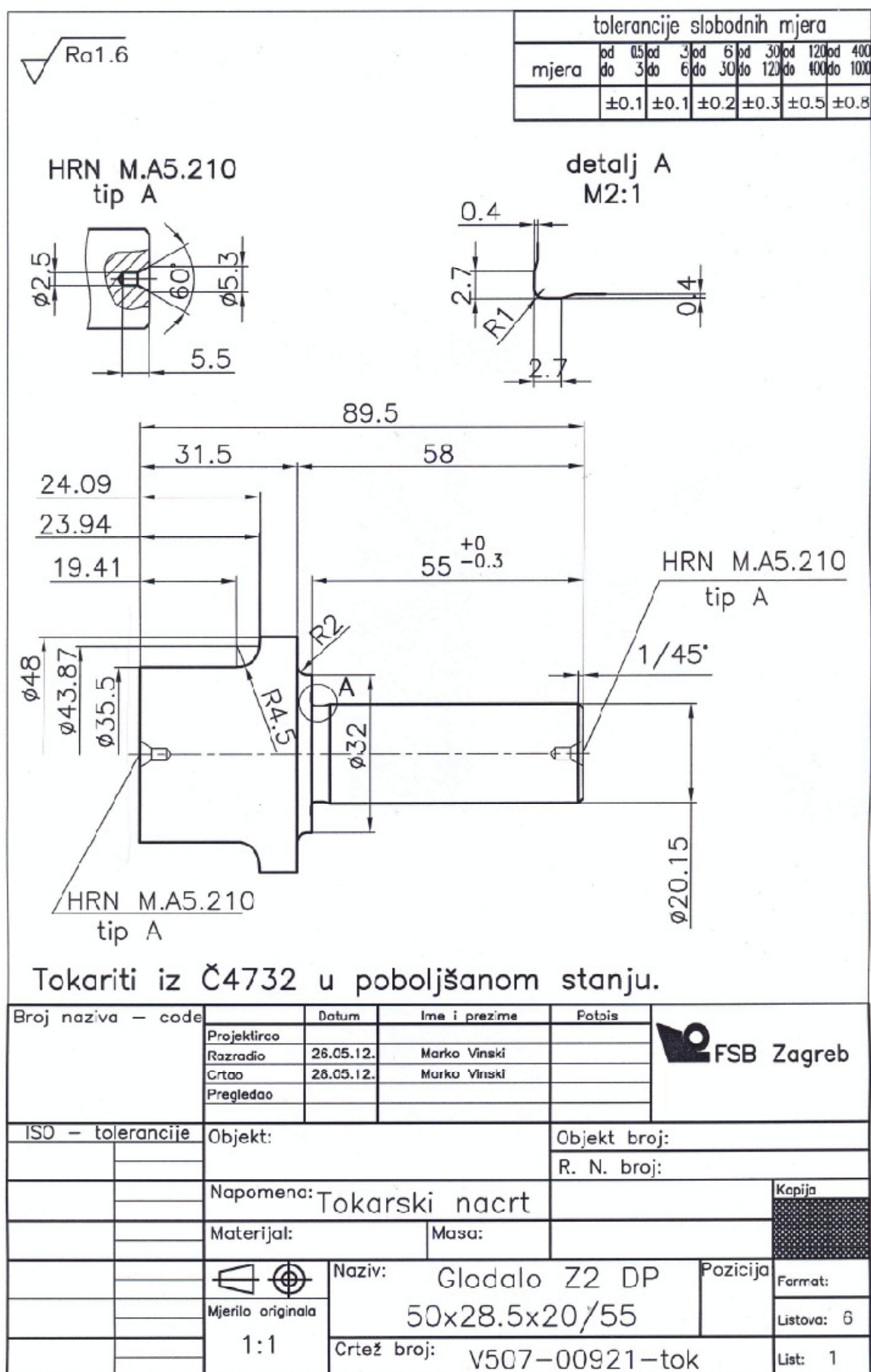
- tokarski nacrt (slika 32.),
- glodački nacrt (slika 33.),
- brusački nacrt (slika 34.),
- nacrt rezne oštice koja se lemi na tijelo glodala (slika 35.),
- nacrt za oštrenje postupkom elektroerozije (slika 36.)

Posebno se još izrađuje nacrt za završnu kontrolu glodala koji će biti prikazan u poglavlju 6. i prema kojem se vrši završna kontrola prije isporuke alata.

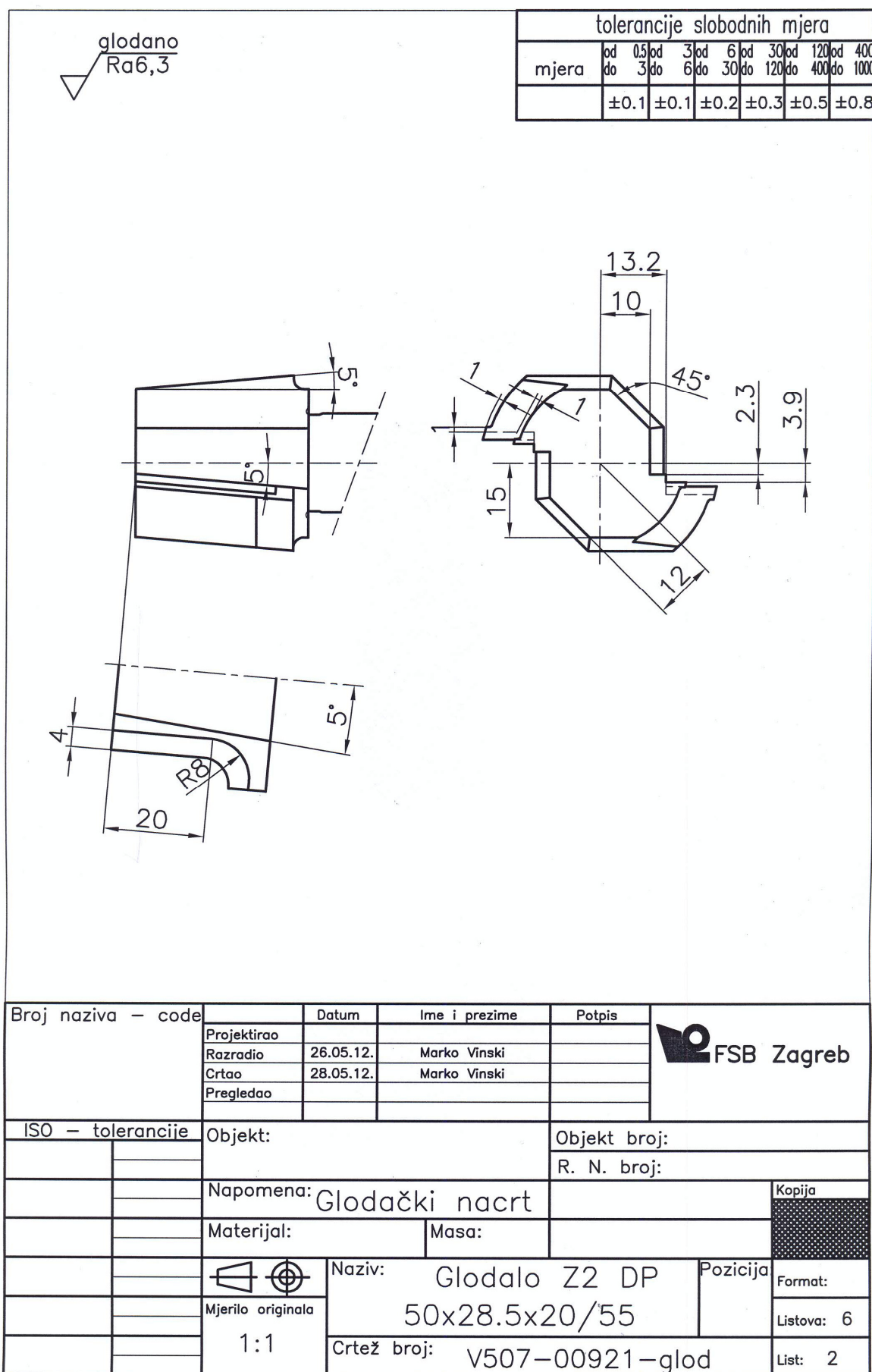
Uz tehničke nacрте radi se i radni nalog. To je popratni list na koji se potpisuje operater zadužen za izradu pojedine operacije (slika 31.). Svojim potpisom operater garantira da je operacija napravljena prema tehničkom nacrtu.

 Vinski Iparaj <small>KARLOVAC-HRVATSKA</small>		POP RATNI LIST ZA IZRADU NOVOG ALATA (RADNI NALOG)		
Br. oper.	Vrsta obrade	Potpis	Datum	Napomena
10	REZANJE	<i>Plavina V</i>	28.05.12.	
20	TOKARENJE	<i>Plavina V</i>	28.05.12.	
30	GLODANJE	<i>Lišinski</i>	31.05.12.	
40	TVRDO LEMLJENJE PLOČICA	<i>Erčić</i>	4.06.12.	
50	PJEŠKARENJE	<i>Dolben Gvič</i>	4.06.12.	
60	BRUŠENJE DRŠKE	<i>Kouman Pro</i>	08.06.12.	
70	OŠTRENJE ELEKTROEROZIJOM	<i>Ullman</i>	11.06.12.	
80	DINAMIČKO BALANSIRANJE	<i>Plavina</i>	12.06.12.	
90	BRUNIRANJE	<i>R</i>	13.06.12.	
100	UPISIVANJE OZNAKE	<i>Gajdo</i>	13.06.12.	
110	ZAVRŠNA KONTROLA	<i>Marko Vinski</i>	14.06.12.	

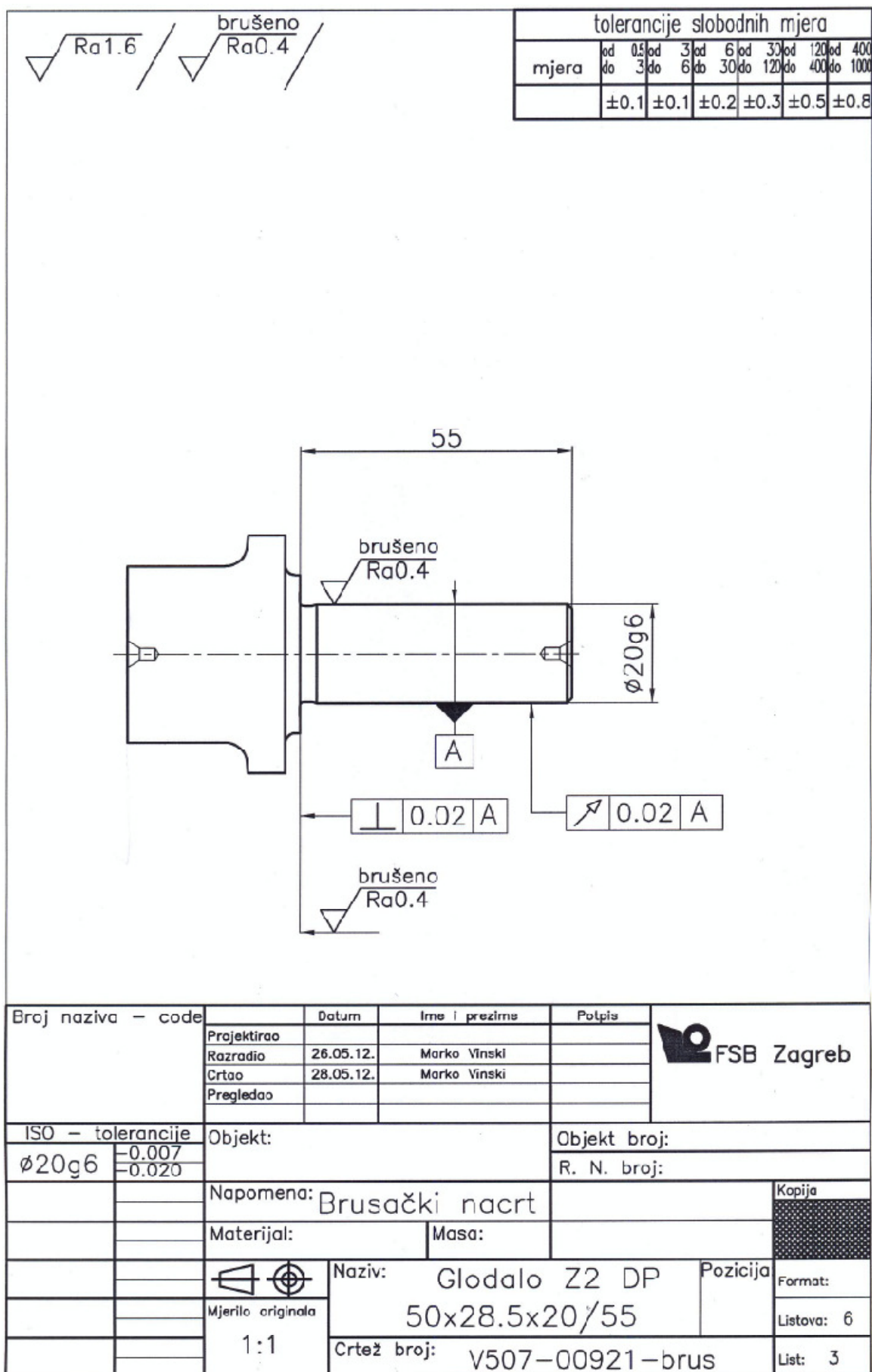
Slika 31. Radni nalog



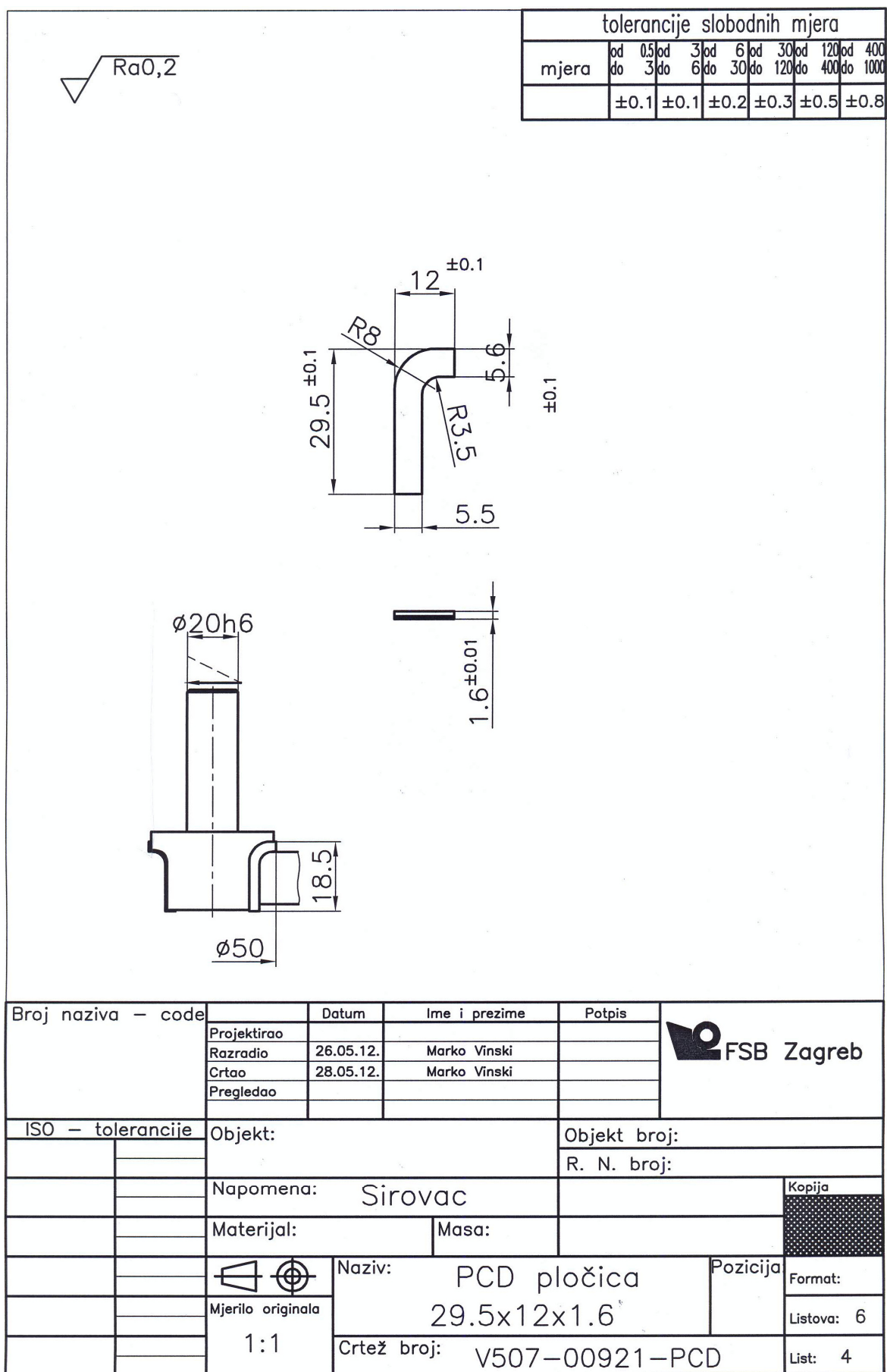
Slika 32. Tokarski nacrt



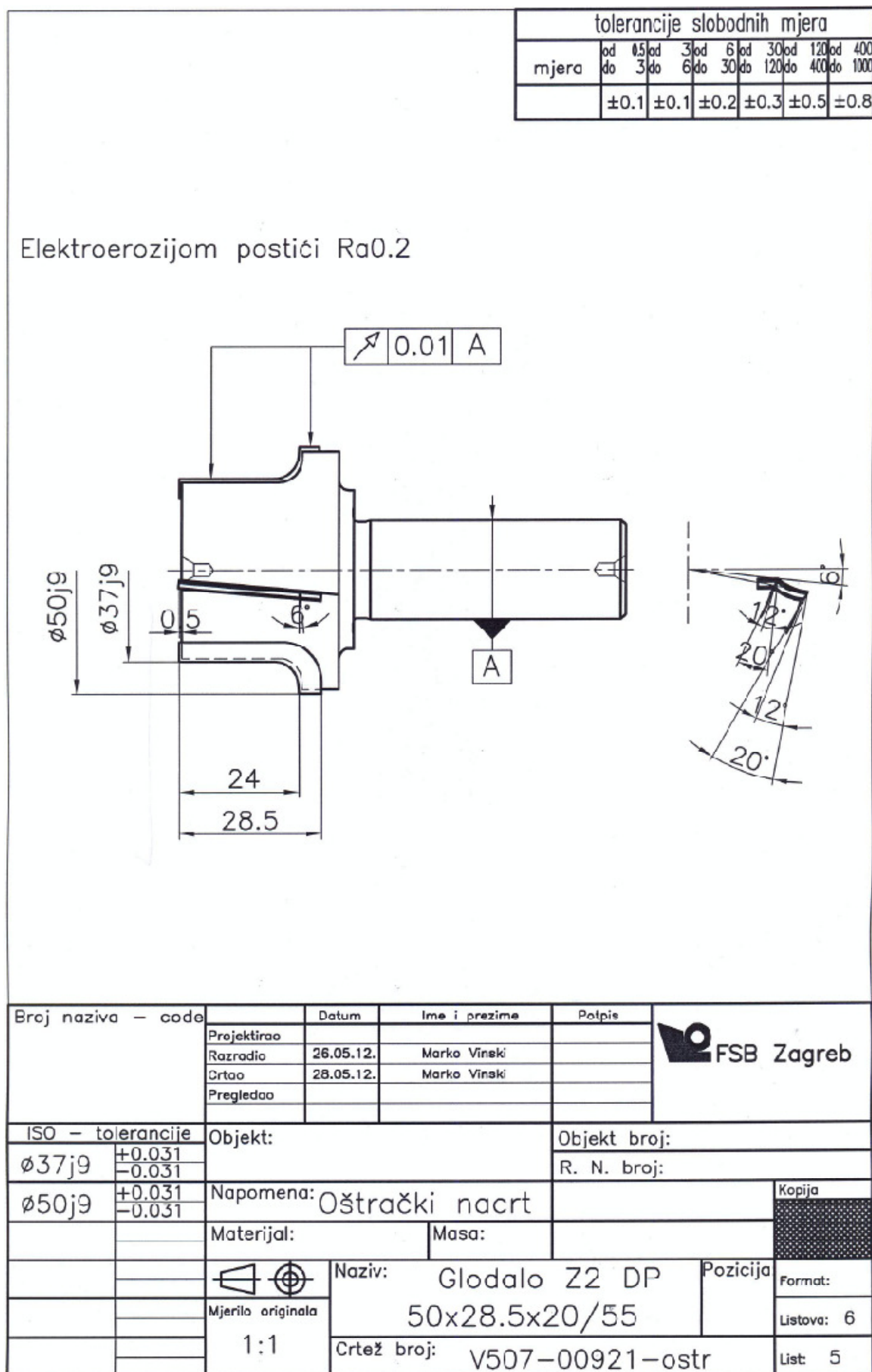
Slika 33. Glodački nacrt



Slika 34. Brusački nacrt



Slika 35. Načrt za izradu PCD pločice



Slika 36. Nacrt za postupak oštrenja elektroerozijom

5.1.7. Mjere zaštite na radu i zaštite okoliša

Prije početka strojne obrade važno je napomenuti da se tijekom cijelog procesa trebaju primjenjivati pravila zaštite na radu kojima se na radnim mjestima i u radnom okolišu opasnosti ili štetnosti po radnika uklanjaju ili svode na najmanju moguću mjeru.

Opasnosti koje proizlaze iz tehnološkog procesa vrlo su različite, a opisane su u procjeni opasnosti koju je poslodavac prema zakonu dužan napraviti. Pored toga, važno je napomenuti da djelatnici moraju biti osposobljeni za rad na siguran način i redovito vršiti liječničke preglede. Izloženosti opasnostima i naporima na radnim mjestima koje je potrebno utvrditi su izloženosti mehaničkim opasnostima, opasnosti od padova i rušenja, opasnosti od električne struje, kemijskih tvari, bioloških tvari, požara i eksplozije, vrućih ili hladnih tvari, buke, prašine, vibracija, zračenja, mikroklima, rasvjete, fizičkih napora, nefiziološkog položaja tijela, psihofizioloških napora i dr.

Vrste zaštitnih sredstava su sljedeće (slika 37.): kuta (radno odijelo), zaštitne naočale s prozirnim staklom (ili tamnim staklom) s bočnom zaštitom, zaštitne naočale za zaštitu od laserskog zračenja, kožne rukavice, zaštitne cipele s čeličnom kapicom, štitnik za zavarivače (naglavni ili ručni) te rukavice za zavarivače.



Slika 37. Zaštitna sredstva

Pravilno gospodarenje otpadom je obaveza svake grane industrije, pa tako i metalne industrije. Sadržava niz postupaka koji obuhvaćaju izbjegavanje stvaranja otpada, ako je moguće, smanjivanje opasnih svojstava otpada, skupljanje i prijevoz te pravilno odlaganje otpada.

Obaveza svakog proizvođača otpada u ovoj grani industrije je voditi zapisnike za sljedeće: strugotine i opiljke koji sadrže željezo, filtere za ulje, ambalažu koja sadrži ostatke opasnih tvari ili je onečišćena opasnim tvarima, tkanine i sredstva za brisanje, emulzije ili otopine za strojnu obradu itd.

Pored navedenog, potrebno je redovito voditi ispitivanja emisije štetnih plinova. Pravilnim i redovitim vođenjem brige o mjerama zaštite na radu, zaštiti okoliša i zbrinjavanju otpada, poboljšavaju se radni uvjeti i vodi se briga o zdravlju djelatnika.

5.2. Razrada tehnološkog postupka izrade po fazama

U ovom dijelu diplomskog rada opisan je postupak izrade glodala s drškom po pojedinim fazama proizvodnje. Glodalo za obradu drva s oštricom od polikristalnog dijamanta proizvedeno je u poduzeću Vinski Juraj u Karlovcu.

Tehnološki postupak izrade glodala s drškom sastoji se od sljedećih faza:

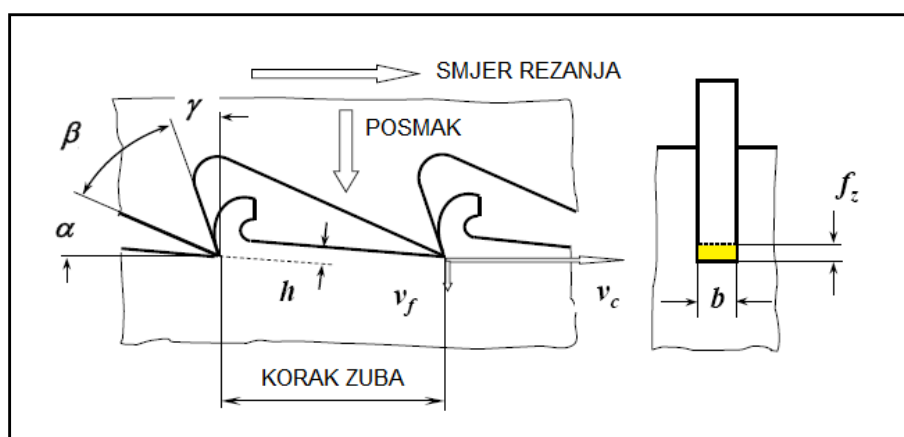
- rezanje,
- tokarenje,
- glodanje,
- tvrdo lemljenje,
- brušenje drške,
- pjeskarenje,
- oštrenje (elektroerozija),
- bruniranje,
- upisivanje oznake,
- završna kontrola dimenzija, oblika i uravnoteženja mase (balansiranje).

5.2.1. Rezanje

Rezanje je postupak obrade odvajanjem čestica koji se upotrebljava u svrhu dijeljenja priprema na više komada koji u slijedećem koraku tehnološkog procesa postaju pripremci za neki drugi postupak obrade. [30]

Postupak rezanja čeličnih trupaca vrši se na stroju koji se zove horizontalna tračna pila. Princip rada ovog stroja je taj da se podigne okvir stroja (tračna pila) pomoću motora hidraulike na potrebnu visinu. Visina na koju se podiže okvir stroja određena je promjerom čeličnog trupca (što je veći promjer trupca više se podiže okvir stroja). Kada se to napravi, čelični trupac se namjesti u steznu napravu i stegne na potrebnu duljinu. Nakon toga se može početi s rezanjem obratka tako da se aktivira pogonski motor. Pri tome se moraju namjestiti režimi rada, a tu se prvenstveno misli na brzinu rezanja. Isto tako potrebno je uključiti motor rashladne tekućine i namjestiti protok ovisno o materijalu koji se obrađuje.

Alat koji se koristi je tračna pila koja se namješta tako da su zubi okrenuti prema okviru, provlači se kroz vodilice i steže pomoću sistema za stezanje. Tračna pila je jednostrano nazubljena traka čiji su krajevi spojeni tako da čini beskonačnu traku. Traka je nazubljena s jedne strane, a zubi mogu biti različitih oblika ovisno o materijalu koji se obrađuje.



Slika 38. Parametri zahvata tračne pile

Geometrija rezne oštrice prikazana je na slici 38. Iz nje se jasno vide karakteristične veličine koje definiraju reznu oštricu, kao što je korak zuba (razmak dvaju susjednih zuba [mm]), visina zuba (najkraći razmak između linije koja spaja vrh zuba i korijen zuba [mm]), te kutevi rezne oštrice i smjer glavne i posmične brzine rezanja.

Za izradu tijela alata koristi se sirovac koji je minimalno 2 mm većeg promjera nego što je traženi promjer tijela alata, a obradak se reže na dužinu koja je isto tako za cca 2 mm veća od tražene duljine alata. Znači, odrezani čelični trupac će imati dimenzije 50x91,5 mm.

5.2.1.1. *Rezanje čeličnog trupca prema tokarskom nacrtu*

Rezanje se izvodi na tračnoj pili HSP SA 300 (slika 39). Alat je bimetalna tračna pila 3660x27x0,9 koja ima promjenjivi korak zuba 4/6 zubi na colu. U sastavnici tehničkog crteža naznačena je vrsta materijala koji se obrađuje i dimenzije na koje se materijal reže. U skladištu materijala uzima se čelični trupac potrebnih dimenzija. Prije nego što se materijal stegne u steznu napravu na određenu dimenziju, okvir tračne pile se mora podignuti na potrebnu visinu. Nakon toga se može početi s obradom rezanja. Parametri obrade prikazani su u tablici 6.

PARAMETRI OBRADE	
Brzina alata v_c	35 m/min
Brzina posmaka v_f	90 mm/min
Vrsta hlađenja	Emulzija- Castrol LXE
Materijal obratka	42CrMo4

Tablica 6. Parametri obrade

Ovo je prva faza u izradi alata, dobiveni izradak ima dimenzije Ø50x91,5 mm. Dobiveni izradak je ustvari pripremak za slijedeću operaciju, a to je operacija tokarenja koja će biti opisana u slijedećem poglavlju.

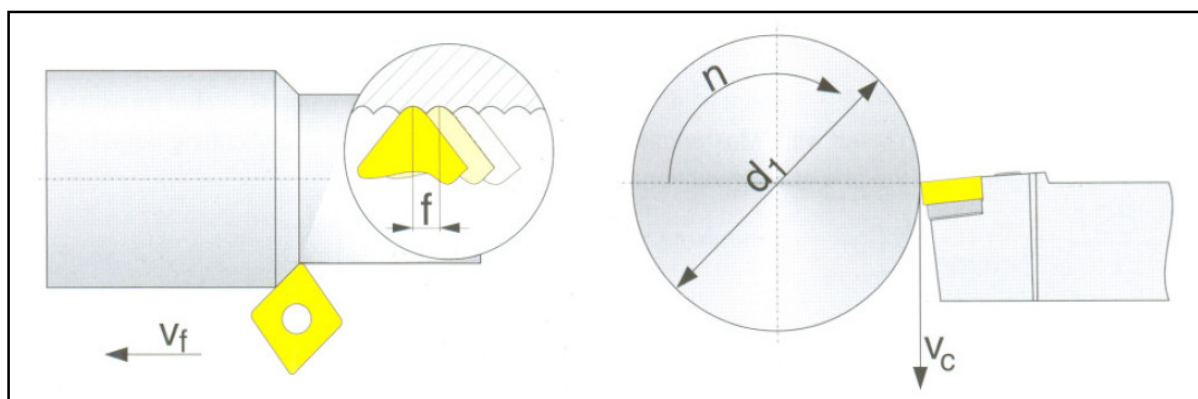


Slika 39. Stroj tračna pila (lijevo) i dobiveni obradak (desno)

5.2.2. Tokarenje

Tokarenje je postupak obrade odvajanjem čestica, pretežno rotacijskih (simetričnih i nesimetričnih, okruglih i neokruglih) površina. Izvodi se na alatnim strojevima, tokarilicama, pri čemu je glavno gibanje kružno kontinuirano i izvodi ga obradak. Posmično gibanje je pravolinijsko kontinuirano u ravnini koja je okomita na pravac brzine glavnog gibanja i izvodi ga alat. Os okretanja glavnog gibanja zadržava svoj položaj prema obratku bez obzira na smjer brzine posmičnog gibanja. Alat za tokarenje je tokarski nož definirane geometrije reznog dijela, s jednom glavnom reznom oštricom. [30]

Najvažniji parametri kod obrade tokarenjem su brzina rezanja i veličina posmaka (slika 40.). Ta dva parametra često se smatraju parom u obradi zbog svog kombiniranog efekta na proces rezanja. Brzina rezanja je razlika brzina između reznog alata i površine obratka na kojem alat reže. Posmak je iznos pomaka koji omogućava kontinuitet obrade, a obično se opisuje u milimetrima po okretaju. Brzina rezanja i posmak zajedno određuju učinak obrade odvajanjem čestica. Brzina rezanja v_c je brzina prolaza reznog vrha alata po obratku usljed njegovog okretanja. Broj okretaja n je frekvencija okretaja glavnog vretena. Prekomjerna brzina vretena ima za utjecaj prekomjerno trošenje alata, oštećenja te pojavu vibracija. Korištenjem racionalne brzine vretena za materijal i alat uvelike se utječe na životni vijek trajanja alata. [18]



Slika 40. Parametri zahvata kod tokarenja

Dubina rezanja je iznos materijala koji skida vrh rezne oštrice alata pri svakom okretaju. Dubina rezanja se definira u mm. Omjer broja okretaja glavnog vretena i dubine rezanja utječe na hrapavost obrađivane površine.

Ako je broj okretaja premalen, a dubina rezanja prevelika površina obrađivanog predmeta će biti hrapava. Dubina rezanja ovisi o sljedećim parametrima:

- snaga glavnog vretena,
- krutost strojnih dijelova i namještenog alata,
- tvrdoća (čvrstoća) obrađivanog materijala
- ostala svojstva obrađivanog materijala, npr. odvojena čestica mora biti malih dimenzija prilikom odvajanja da bi efektivno odvodila toplinu.

Tokarenje se može podijeliti na osnovi više kriterija podjele. Jedna od podjela je prema proizvedenoj kvaliteti obrađene površine:

- grubo,
- završno,
- fino tokarenje.

5.2.2.1. Grubo tokarenje

Veliki dio obrade na tokarilici predstavlja odstranjivanje viška materijala kako bi se dobio osnovni oblik predmeta. Ova obrada naziva se gruba obrada. Cilj joj nije postizanje visoke točnosti dimenzija, već odstraniti višak materijala što brže i s optimalnim životnim vijekom trajanja rezne pločice. Ovo treba postići uz ostavljanje dodatka materijala za završnu obradu.

Rezne pločice za grubu obradu su čvrste, obično s velikim polumjerom vrha pločice kako bi izdržale velike dubine i brzine rezanja. Uobičajeni romboidni oblik pločice za grubu obradu ima kut 80° (uz 2+2) rezne oštrice. Trokutaste pločice imaju do 3+3 rezne pločice. Neke pločice imaju rezne oštrice samo na jednoj strani. Iako veliki broj alata može rezati u svim smjerovima, neki smjerovi nisu preporučeni ili su preporučeni samo za povoljne uvjete rezanja.

U praksi se treba pridržavati osnovnog pravila u strojnoj obradi. Uvijek treba prvo izvršiti operacije koje se odnose na nepovoljne uvjete rezanja, a zatim koje se odnose na povoljne uvjete rezanja.

Ovo osnovno pravilo sugerira da se treba izvršiti sva gruba prije nego što se krene na završnu obradu. Razlog je izbjegavanje mogućeg pomjeranja obratka koji nastaje zbog velikih sila rezanja pri gruboj obradi, što bi dovelo do nedozvoljenih odstupanja dimenzija. Trošenje alata se optimizira većim dubinama rezanja i manjim brzinama

rezanja uz upotrebu rashladnog sredstva za većinu materijala. Rashladno sredstvo treba biti uključeno prije nego alat uđe u materijal.

5.2.2.2. Dodatak za završnu obradu

Dodatak za završnu obradu je manja količina materijala ostavljena pri gruboj obradi s ciljem da se skine u finoj (završnoj) obradi radi postizanja tražene točnosti dimenzija i kvalitete površinske obrade. Ako je taj dodatak prevelik javit će se velike sile rezanja kao pri gruboj obradi, a premali dodatak krije opasnost nemogućnosti dobivanja tražene točnosti dimenzija i kvalitete površine pri finoj obradi. Za orijentaciju, može se uzeti kao pri uzdužnoj obradi, tj. pri obradi promjera. Dodatak za finu obradu jednak je ili nešto veći od polumjera vrha rezne pločice. Ovaj dodatak je po strani obratka, a dodatak po promjeru je duplo veći (npr. ako je vrh rezne pločice polumjera 0,4 mm, dodatak po promjeru može biti 1mm). Dodatak za finu obradu u smjeru osi Z (poprečna obrada) je kritičniji zbog rezne geometrije pločice, tj. držača alata. Preporučeni dodatak je 2 do 3 puta manji u odnosu na dodatak u smjeru osi X. Kako su deformacije obratka u smjeru osi Z manje nego u smjeru osi X, ovo je sasvim logično rješenje.

5.2.2.3. Fina obrada

Izvršava se nakon što je sva gruba obrada završena. To je jedan prolaz alata po konturi kojim se skida dodatak ostavljen pri gruboj obradi. Zbog male količine materijala koja se skida javljaju se male sile rezanja, pa je moguće postići visoku točnost dimenzija. Da bi se ostvarila manja hrapavost površine primjenjuju se veće brzine rezanja i manji posmaci. Za završnu obradu koriste se različite rezne pločice, a najčešće su romboidnog oblika s kutom 55° ili 35°.

5.2.2.4. Tokarenje tijela alata

Tijelo alata izrađuje se na tokarskom stroju Monforts KNC 5 (slika 41.). To je numerički upravljani tokarski stroj koji služi za uzdužno, poprečno i stožasto tokarenje, rezanje navoja, bušenje s križnim suportom ili konjićem itd. Tokarenjem se izrađuje tijelo alata koje je uvijek cilindričnog oblika, a ovisno o načinu stezanja razlikujemo ona s drškom i ona s provrtom. U ovom slučaju alat ima dršku koja se prema nacrtu mora tokariti na mjeru od $\varnothing 20.15$ mm. Nakon toga drška ide na dodatnu operaciju, a to je brušenje na završnu mjeru od $\varnothing 20$ g6 da bi se postigla odgovarajuća kvaliteta površine. Postupak tokarenja se izvodi tako da se obradak koji je odrezan na rezalici stegne u steznu glavu (amerikaner) tokarskog stroja i obrađuje prema nacrtu za tokarenje. Tokarenje se izvodi u dva stezanja. U prvom stezanju izrađuje se dio alata koji se zove drška, a u drugom stezanju izrađuje se dio tijela alata koji će se kasnije glodati. Prije i nakon svakog stezanja potrebno je vršiti vizualnu kontrolu i kontrolu dimenzija što će biti opisano u planu kontrole.



Slika 41. Tokarski stroj (Monforts KNC 5)

Prvo stezanje – izrada drške:

1. Poravnavanje čela obratka – obradak koji je stegnut u stezne čeljusti obrađuje se tako da se prvo poravna čelo. Poravnavanje čela izvodi se alatom koji se zove tokarski nož. Alat se sastoji od dva dijela, a to su držač alata i rezna pločica.

Držač za čeonu tokarenje	PSDNN 2020K12
Rezna pločica	SNMG 120408EN-TM
Posmak f	0,2 [mm/o]
Brzina rezanja v_c	157 [m/min]


Tablica 7. Tokarenje čela obradka - prvo stezanje

2. Izrada središnjeg gnjezda – operacija izrade središnjeg gnjezda izvodi se pomoću svrdla za izradu središnjeg gnjezda koje se učvršćuje u steznu napravu koja se nalazi na konjiću tokarskog stroja. Konjić se primakne obratku koji se vrti određenim brojem okretaja te se zabuši sa strane čela. Ova operacija se izvodi zbog podupiranja obradka tijekom operacija tokarenja, a kasnije i brušenja drške.

Svrdlo za središnje gnjezdo	A2,5x6,3 HSS
Broj okretaja n	1000 [o/min]

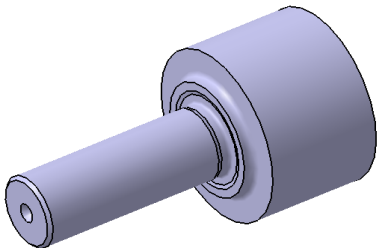
Tablica 8. Izrada središnjeg gnjezda - prvo stezanje

3. Vanjsko tokarenje (grubo) – operacija se izvodi tako da se obratku primakne konjić na kojem se sada nalazi okretni šiljak koji služi za podupiranje obratka. Nakon toga može se početi s operacijom vanjskog grubog tokarenja što znači da će se obradak obraditi tako da se ostavi dovoljno materijala za završnu (finu) obradu.

Držać za vanjsko tokarenje	PDJNK 2525 M11	
Rezna pločica	DNMG 110408EN TM	
Posmak f	0,2 [mm/o]	
Brzina rezanja v_c	157 [m/min]	
Dubina rezanja a_p	1,5 [mm]	

Tablica 9. Grubo vanjsko tokarenje - prvo stezanje

4. Vanjsko tokarenje (fino) – obrađuje se samo ona količina materijala koja je ostavljena kod grube obrade. U ovom koraku se na mjeru izrađuje dio alata gdje se nalazi drška. Prilikom obrade koristi se držać alata iste oznake, ali s drugom reznom pločicom. Parametri obrade su podešeni tako da ostavljaju finiju obradu.

Držać za vanjsko tokarenje	PDJNK 2525 M11	
Rezna pločica	DNMG 110404EN TM	
Posmak f	0,12 [mm/o]	
Brzina rezanja v_c	140 [m/min]	
Dubina rezanja a_p	0,2 [mm]	

Tablica 10. Vanjsko fino tokarenje - prvo stezanje

Drugo stezanje – izrada nosača rezne oštrice

1. Poravnavanje čela – nakon što se alat stegne, čelo se poravna na točnu mjeru kao na tehničkom nacrtu.

Držač za čono tokarenje	PSDNN 2020K12
Rezna pločica	SNMG 120408EN-TM
Posmak f	0,2 [mm/o]
Brzina rezanja v_c	157 [m/min]

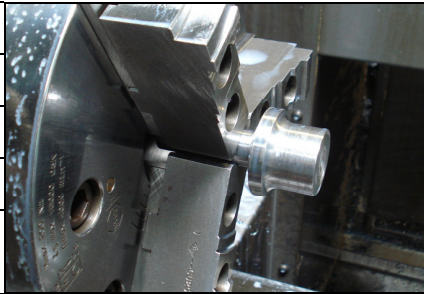
Tablica 11. Obrada poravnavanja čela - drugo stezanje

2. Izrada središnjeg gnjezda – operacija izrade središnjeg gnjezda opisana je u prvom stezanju, a isto vrijedi i ovdje.

Svrdlo za središnje gnjezdo	A2,5x6,3 HSS
Broj okretaja n	1000 [o/min]

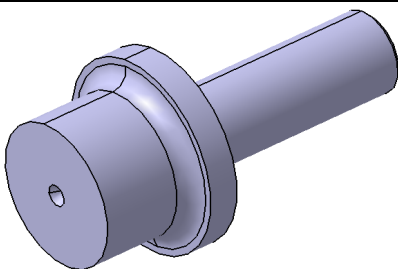
Tablica 12. Izrada središnjeg gnjezda - drugo stezanje

3. Vanjsko tokarenje (grubo) – konjićem na kojem se nalazi okretni šiljak podupire se obradak i započinje gruba obrada.

Držač za vanjsko tokarenje	PDJNK 2525 M11	
Rezna pločica	DNMG 110408EN TM	
Posmak f	0,2 [mm/o]	
Brzina rezanja v_c	157 [m/min]	
Dubina rezanja a_p	1,5 [mm]	

Tablica 13. Vanjsko grubo tokarenje - drugo stezanje

4. Vanjsko tokarenje (fino) – obrađuje se samo ona količina materijala koja je ostavljena kod grube obrade. U ovom koraku se na mjeru izrađuje dio alata gdje će se kasnije glodati uzubina i ležište za pločicu.

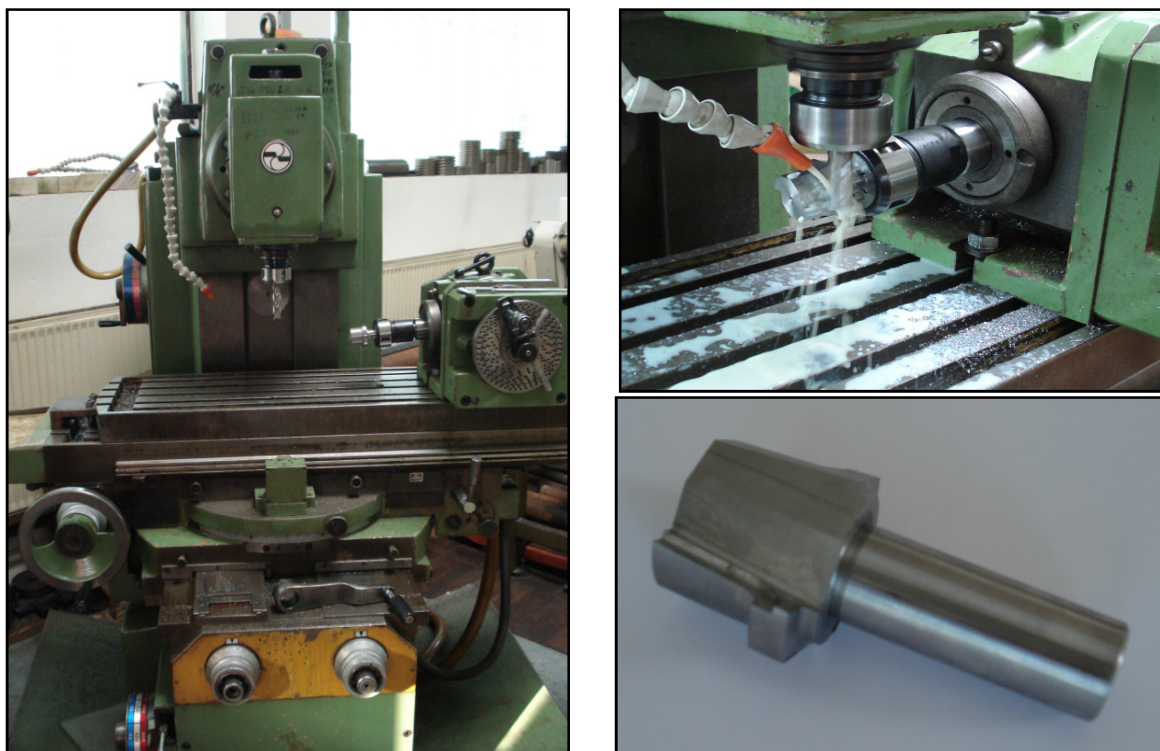
Držač za vanjsko tokarenje	PDJNK 2525 M11	
Rezna pločica	DNMG 110404EN TM	
Posmak f	0,12 [mm/o]	
Brzina rezanja v_c	140 [m/min]	
Dubina rezanja a_p	0,2 [mm]	

Tablica 14. Vanjsko fino tokarenje - drugo stezanje

5.2.3. Glodanje

Glodanje je postupak obrade odvajanjem čestica. Glodanjem se obrađuju površine proizvoljnoga oblika, a izvode se na alatnim strojevima, glodalicama. Glavno gibanje je kružno kontinuirano i izvodi ga alat, dok je posmično gibanje kontinuirano, proizvoljnog oblika i smjera i izvodi ga najčešće obradak. Os okretanja glavnog gibanja zadržava svoj položaj prema alatu bez obzira na smjer brzine posmičnog gibanja. [30]

Nakon obrade tokarenja potrebno je izraditi uzubinu i ležište za reznu oštricu. Ova operacija vrši se na stroju koji se zove vertikalna glodalica. Vertikalna glodalica radi tako da joj os glodala stoji vertikalno (okomito), dok je ostali dio stroja jednak horizontalnim glodalicama. Pogodne su za čeono glodanje, glodanje utora, kanala, rubova utornim glodalima, profilno glodanje.



Slika 42. Vertikalna glodalica i obradak nakon operacije glodanja

Vertikalne glodalice (slika 42.) spadaju u skupinu konzolnih glodalica, a njihova glavna značajka je da imaju konzolu koja je pokretljiva u vertikalnom smjeru, a na kojoj se nalazi križni suport pokretljiv u horizontalnom i poprečnom smjeru.

Na križnom suportu nalazi se radni stol pokretljiv u poprečnom i uzdužnom smjeru. Na taj je način obradak koji je stegnut u steznu napravu na stroju pokretljiv u tri međusobno okomita smjera.

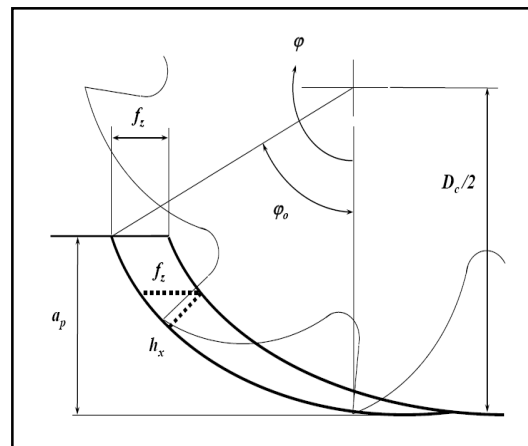
Glavno vreteno miruje u prostoru i izvodi samo glavno režno gibanje, a radni stol izvodi posmično gibanje.[1]

Nekoliko je kriterija na osnovu kojih je podjeljeno glodanje, pa se tako obrada glodanja može podjeliti prema proizvedenoj kvaliteti obrađene površine na grubo, završno i fino glodanje. Može se podjeliti i prema kinematici postupka na protusmjerno i istosmjerno, prema položaju reznih oštrica na glodalu, na obodno i čeono, te prema obliku obrađene površine na ravno, okretno, profilno, odvalno, oblikovno.

Parametri zahvata (slika 43.)

kod glodanja su:

- posmak glodala f [mm],
- posmak po zubu f_z [mm],
- dubina obrade a_p [mm],
- debljina reza h [mm],
- širina reza b [mm].



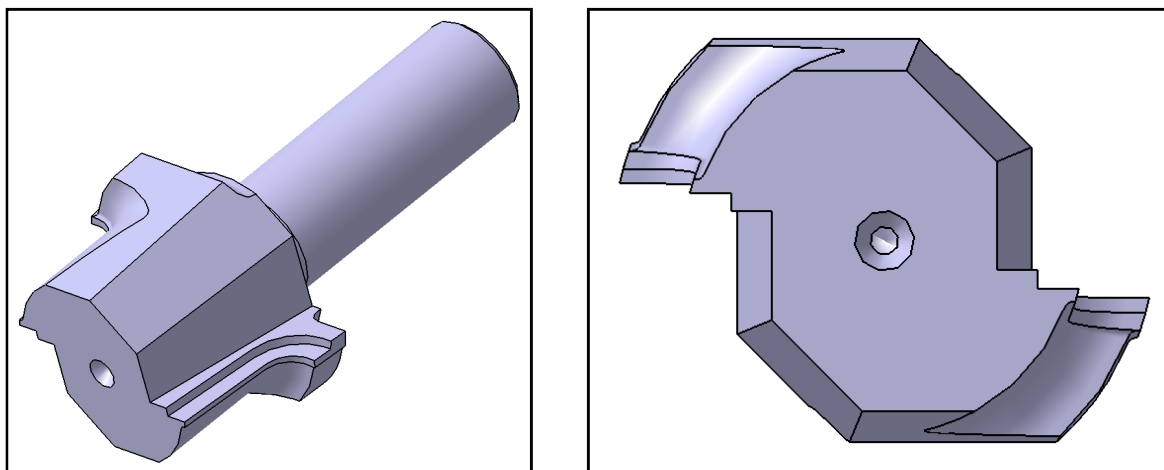
Slika 43. Parametri zahvata (glodanje) [30]

Alat kojim se vrši obrada glodanja je glodalo koje ima definiranu geometriju reznog dijela i sadrži više glavnih reznih oštrica koje se nalaze na zubima glodala i mogu biti smještene na obodnoj ili na čeonoj plohi glodala ili njihova kombinacija.

Karakteristika obrade je periodičan ulaz reznih oštrica u zahvat s obradkom i izlaz iz njega što izaziva dinamičko opterećenje alata. Glodala dolaze u više izvedbi koje se razlikuju po obliku i namjeni, a izrađuju se najčešće od: brzoreznih čelika, tvrdih metala, cermeta, keramike i CBN-a. [30]

5.2.3.1. Glodanje uzubine i ležišta za reznu oštricu

Obrada glodanja uzubine i ležišta za pločicu vrši se tako da se drška alata stegne u steznu napravu koja je pričvršćena u uređaj za kružno dijeljenje (diobeni aparat). Nakon namještanja kuteva prema tehničkom nacrtu započinje se s operacijom grubog glodanja uzubine glodala. Uzubina se gloda s alatom $\varnothing 16\text{mm}$ u nekoliko prolaza, s time da se ne gloda odmah na završnu mjeru već se ostavi dodatak za finu obradu. Isti postupak se ponavlja i kod operacije završnog (finog) glodanja samo što se koristi drugi alat i drugi režimi rada. U slijedećem koraku s tim istim alatom se prema nacrtu glodaju ležišta za pločice gdje će se zalemiti pločice od polikristalnog dijamanta.



Slika 44. 3D model glodala nakon operacije glodanja

Nakon što su izglodana ležišta za pločicu, vrši se kontrola dimenzija, ali isto tako i vizualna kontrola.

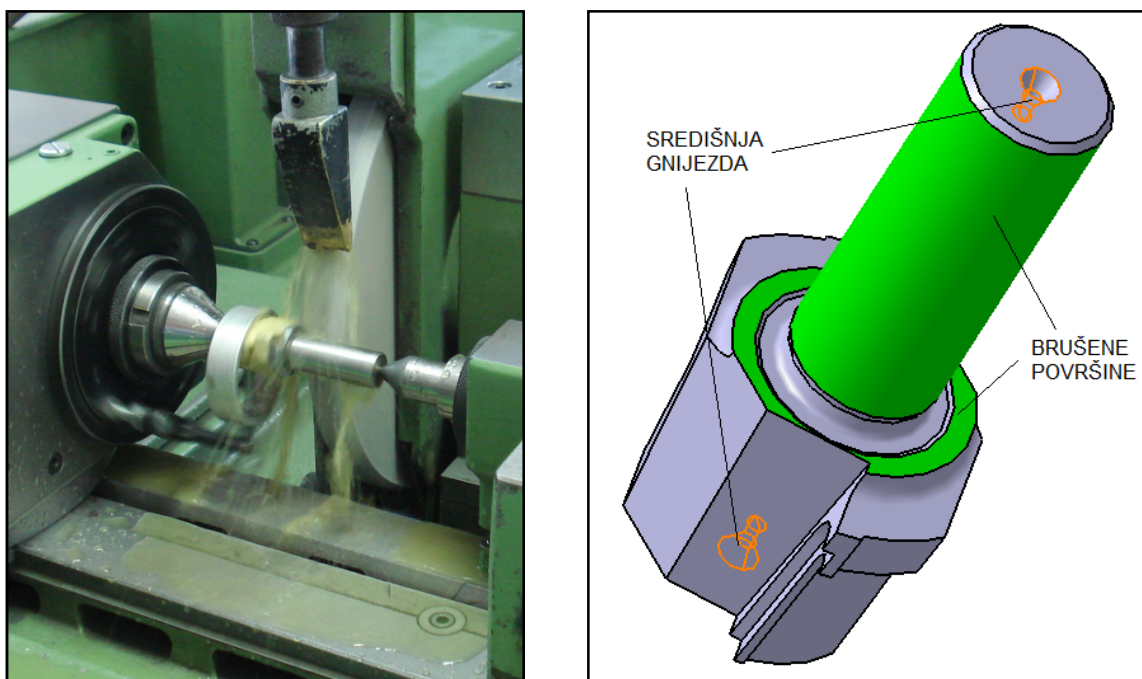
Budući da se glodanje izvodi na univerzalnoj vertikalnoj glodalici, obrada nekih složenijih površina nije uvijek najkvalitetnije izvedena što neće imati nikakvog utjecaja na kvalitetu već samo na estetski izgled glodala za obradu drva.

Najveći nedostatak koji se može dogoditi kod obrade glodanja je neuravnoteženost mase (debalans) što bi u radu moglo dovesti do vibracija, pa čak i loma glodala. Isto tako zbog debalansa bi moglo doći i do oštećenja nekih dijelova stroja kao što su ležajevi glavnog vretena. Taj nedostatak se uspješno otklanja balansiranjem koje je objašnjeno u poglavlju 5.3.2.2. i nema nikakvih bojazni da bi se bilo koji od gore navedenih nedostataka mogao negativno odraziti prilikom eksploatacije budućeg glodala.

5.2.4. Brušenje drške

Brušenje drške na toleranciju $\varnothing 20$ g6 izvodi se na univerzalnoj brusilici (slika 45.) za okruglo brušenje koja služi za najfiniju obradu cilindričnih dijelova.

Stroj se sastoji od krutog postolja na kojemu se nalazi uzdužni stol vođen u vodilicama postolja. Stol je pokretljiv u uzdužnom smjeru i na njemu su smješteni vretenište za prihvata i pogon obratka te konjić. Brusno vretenište smješteno je na posebnom suportu, koji je vođen u poprečnim vodilicama postolja. [1]



Slika 45. Univerzalna brusilica (lijevo) i 3D model (desno)

Brušenje drške izvodi se tako da se glodalo koje je prethodno istokareno i izgledano upinje između šiljaka vreteništa za prihvata i konjića. Obradak se može upeti na taj način jer su prilikom obrade tokarenja izrađena središnja gnjezda.

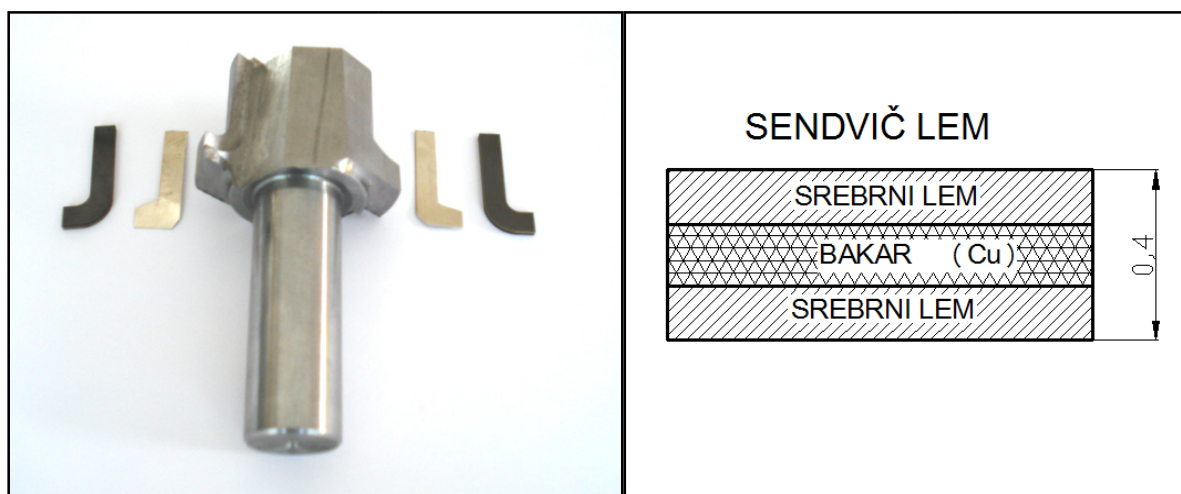
Alat za obradu drške je brusna ploča i ona izvodi glavno, kružno gibanje te translaciju koja je okomita na obradak. Obradak se također rotira oko svoje osi i vrši translaciju u uzdužnom smjeru. Primicanjem brusne ploče ostvaruje se kontakt između brusne ploče i obratka te se drška alata obrađuje na potrebnu toleranciju. Na isti način obrađuje se i sjedište za prihvata. Sjedište za prihvata služi kao pomoć pri stezanju alata u neku od mnogih vrsta prihvata za alate kao što su npr ISO prihvat, HSK itd. Nakon što su površine obrađene, potrebno je izvršiti kontrolu dimenzija drške.

5.2.5. Lemljenje

Lemljenje je postupak spajanja dijelova, najčešće metalnih, pomoću rastaljenog dodatnog materijala koji se naziva lem i kojemu je talište barem 50 °C stupnjeva niže od tališta lemljenog materijala.

Lemni se spoj ostvaruje kvašenjem površine lemljenog metala rastaljenim lemom, difuzijom lema u površinske slojeve spajanih dijelova te kristalizacijom lema i mehaničkim sidrenjem. Da bi rastaljeni lem kvasio čvrsti lemljeni metal, potrebna je toplina za taljenje lema, a kvašenje je to bolje što je temperatura viša. Drugi je uvjet kvašenja da površinske veze metala budu slobodne, tj. da na površini ne bude oksida, prevlaka, nečistoća i sl. Zbog toga se spojne površine čiste mehanički i kemijski prije lemljenja, te kemijski za vrijeme lemljenja pomoću talila (topitelja) koje otapa površinske nečistoće lemljenog metala i omogućuje dobro kvašenje i rasprostiranje lema po njegovoj površini. Česta je podjela lemljenja prema radnoj temperaturi na tvrdo i meko lemljenje. [15]

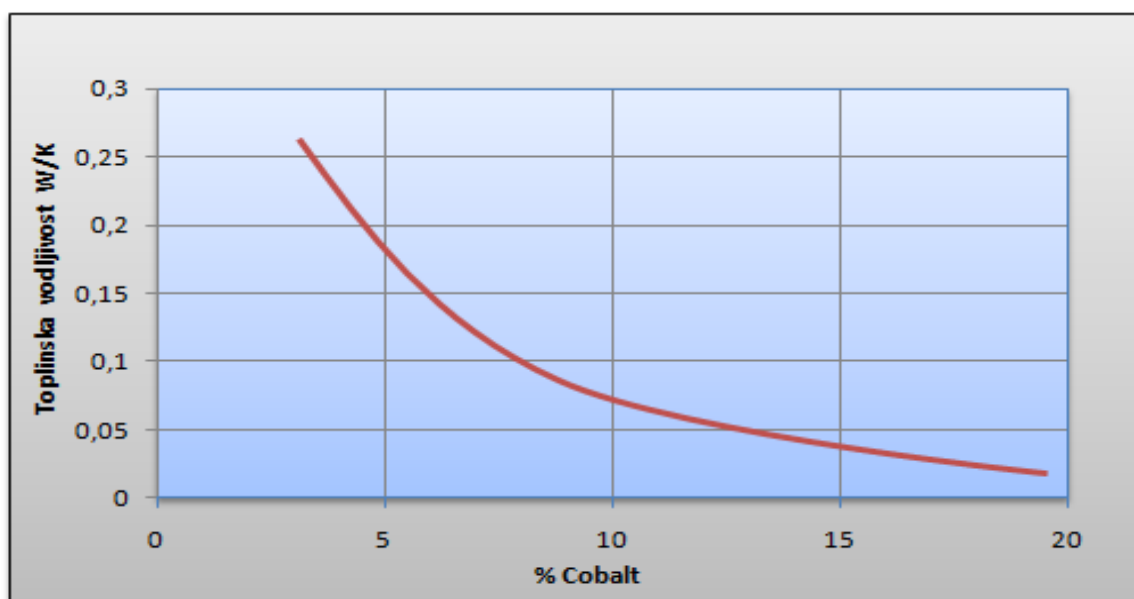
Tvrdo lemljenje se primjenjuje kod izrade alata za obradu drva s lemljenim pločicama. Ono se odvija na temperaturama iznad 450 °C, točnije, na temperaturama oko 700 °C i njime se dobivaju spojevi koji imaju veću tvrdoću i čvrstoću. Postupak kojim se lemi je indukcijsko lemljenje ili plinsko lemljenje koje se temelji na zagrijavanju i taljenju lema plamenom gorivih plinova. Kao gorivi plin upotrebljava se acetilen, propan, butan, prirodni plin i sl. Tvrdim lemljenjem na tijelo alata leme se pločice polikristalnog dijamanta proizvođača u za njih pripremljena ležišta na tijelu alata.



Slika 46. Priprema obradka za lemljenje (ljevo) i sendvič lem (desno)

5.2.5.1. Postupak lemljenja pločice od PCD-a

Lemljenje je vrlo važan korak u proizvodnji alata za obradu drva s lemljenim pločicama. Za lemljenje alata čija je rezna oštrica od volfram karbida i polikristalnog dijamanta vrijedi pravilo da što je veći udio veziva tj. kobalta, bolje je prijanjanje lemljenog sloja na površinu metala. Budući da se pločica od polikristalnog dijamanta sastoji iz dva dijela (tvrdog metala i dijamantnih zrna zarobljenih u kobaltu), ona ima dovoljno veziva da bi lemljeni spoj mogao zadovoljiti uvjete u kojima će se takav alat koristiti. U suprotnom, kada je smanjeni udio kobalta, slabije su sile prijanjanja, povećava se lomljivost i smanjuje otpornost na savijanje. Zbog toga je posebno teško lemiti pločice polikristalnog dijamanta većih dimenzija i s manjim udjelom kobalta zbog pucanja. Zato bi rezne oštrice većih dimenzija trebale imati minimalno 6% vezivnog materijala.

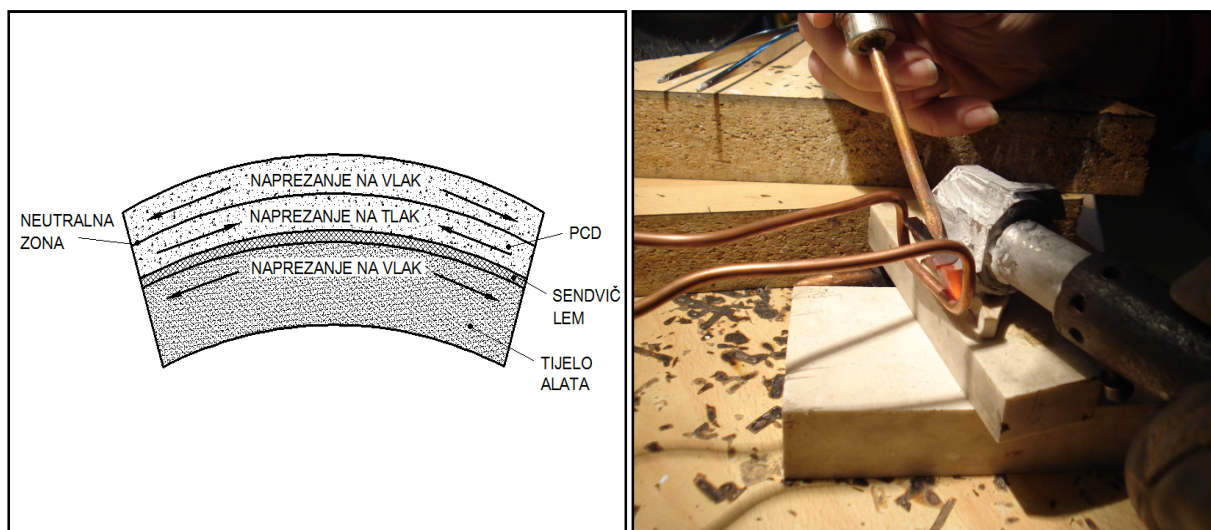


Slika 47. Kako postotak kobalta utječe na toplinsku vodljivost lema [40]

Slijedeći čimbenik koji ima veliki utjecaj na lemljenje je koeficijent toplinske dilatacije (širenja materijala) prilikom zagrijavanja i skupljanja materijala prilikom hlađenja. Koeficijent toplinske dilatacije čelika je dvostruko veći od onog koji ima volfram karbid. Zahvaljujući toj razlici stvaraju se visoka naprezanja (slika 48.) na površini volfram karbida, i ako je to naprezanje veće od dozvoljenog za volfram karbid, stvaraju se pukotine. Provodljivost topline vrlo je utjecajan faktor i važan je za otpornost na nagle promjene temperature koje se javljaju prilikom lemljenja. Toplinska provodljivost se smanjuje povećanjem udjela kobalta (slika 47).

Povećanjem udjela vezivnog materijala tj. kobalta, povećava se koeficijent toplinske dilatacije. Zato je prilikom zagrijavanja važno da oba materijala, čelik i volfram karbid, postignu odgovarajuću temperaturu lemljenja.

Postupak induksijskog lemljenja ponekad stvara probleme prilikom lemljenja jer se čelik puno brže zagrijava od volfram karbida. Zahvaljujući različitim koeficijentima rastezanja čelik se brže steže za razliku od volfram karbida prilikom hlađenja. Zbog toga može doći do deformacija nakon skrućivanja lema, stvarajući tako konveksno savijanje volfram karbida i velika naprezanja na površini materijala. Rizik od nastajanja takvih naprezanja može se smanjiti sporim hlađenjem alata koji je zalemljen i korištenjem sendvič lema (Ag-Cu / srebro-bakar). Isto tako, korištenjem predprofiliranih djelova za lemljenje smanjuje se opasnost od nastanka pukotina i površinskih napetosti.



Slika 48. Naprezanja koja se javljaju nakon lemljenja (lijevo) i induksijsko lemljenje (desno)

Postupak lemljenja u ovom slučaju je induksijsko lemljenje (slika 48.). Princip ovog postupka je taj da se lemljeni dijelovi s umetnutim lemom stavljaju u visokofrekventno magnetno polje koje stvara zavojnica prilagođena obliku dijelova i hlađena vodom. Spojno mjesto i lem se tada zagrijevaju zbog pojave elektromagnetne indukcije i induciranog napona uzrokovanog vrtložnim strujama. Sami dijelovi nisu elementi strujnog kruga. [15]

Prije postupka induksijskog lemljenja potrebno je očistiti elemente koji se leme kemijskim ili mehaničkim putem. Mehanički se tijelo alata čisti postupkom pjeskarenja, a kemijskim putem uz pomoć sredstava za otklanjanje masnoća. Nakon

što se površine lemljenja očiste (ležište za pločicu i PCD pločicu), premažu se topiteljem za tvrdo lemljenje koji omogućuje da se lem ravnomjerno rasporedi po površini lemljenja. Kao lem koristi se srebrni sendvič lem (slika 46.) odrezan iz trake u kojoj se lem isporučuje, zatim se lem pripremi i oblikuje prema obliku ležišta za pločicu. Kemijski sastav sendvič lema (49/Cu 70x0,4) koji se koristi je 49% Ag, 27.5% Cu, 20.5% Zn, 2.5% Mn, 0.5% Ni, a propisana temperatura lemljenja za njega je 690 °C. Kada je postupak lemljenja završen, obradak se kontrolirano hladi. Nakon toga se vrši vizualna kontrola gdje se posebno obraća pažnja na to da nije došlo do pucanja pločica ili neželjenih deformacija.

5.2.6. Pjeskarenje

Nakon što alat prođe kroz prethodno navedene operacije, slijedi čišćenje i odmašćivanje.

Čišćenje i odmašćivanje se vrši na radnom mjestu za čišćenje i odmašćivanje gdje se nalazi bazen s lužinom od kaustične sode. Alat se uroni u lužinu i ostavi se u njoj nekoliko minuta, nakon toga se izvadi iz kupke, obriše i posuši.

Slijedeći korak je pjeskarenje. Pjeskarenje (slika 49.) je postupak čišćenja materijala do željenog stupnja čistoće određenim abrazivom (grit, korund) uz pomoć komprimiranog zraka.

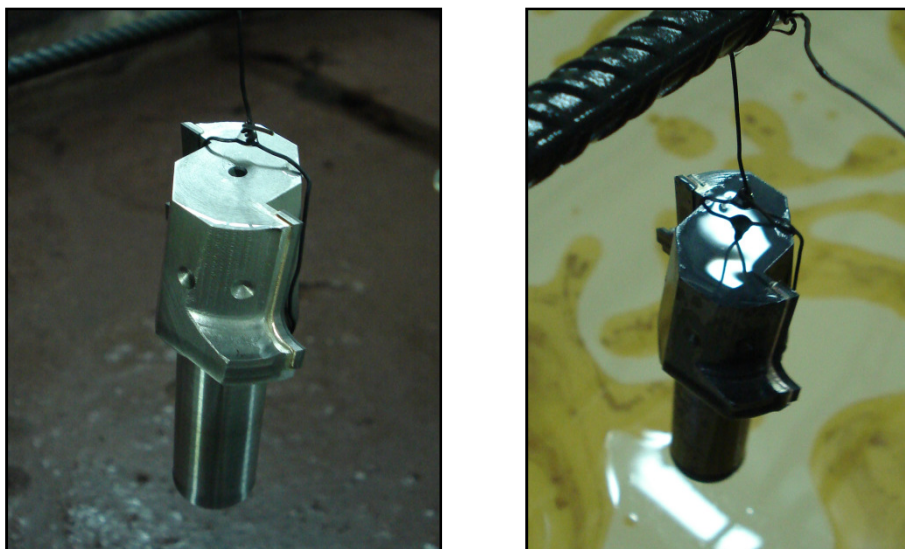


Slika 49. Pjeskarilica

5.2.7. Bruniranje

Bruniranje (od francuske riječi brun=smeđ) je postupak tvorbe vidljivih oksidnih ili hidroksidnih slojeva na nelegiranim željeznim materijalima. Obradene površine nakon postupka mogu biti crne, sive, smeđe ili plave. Postoji nekoliko vrsta bruniranja: lužnato, grijanjem u plinovima, „masno“ ili „kovačko“, bruniranje u rastaljenim smjesama oksidansa, „kiselo“ bruniranje te anodizacija tehničkog željeza u vrućoj otopini NaOH.

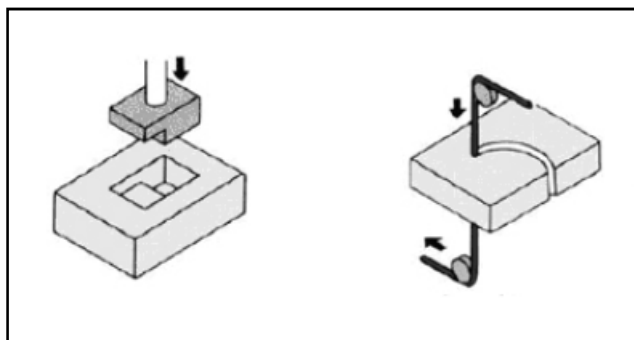
U ovom slučaju primjenjuje se lužnato bruniranje (slika 50.) u vrelin koncentriranim otopinama NaOH koje sadrže oksidanse (najčešće nitrata i nitrite, npr. NaNO_3 i NaNO_2). U kupelj koja ima temperaturu približno 140°C se uranjaju čisti i suhi obradci i nakon 20-30 min nastaje crni sloj Fe_3O_4 (magnetit) koji ima debljinu do $2\mu\text{m}$. Nakon ispiranja i sušenja, prevlaka se zbog svoje poroznosti mora još impregnirati strojnim uljem. Bruniranje je postupak koji daje tanke, krhke i porozne prevlake željeznih oksida i hidratiranih oksida. Te prevlake imaju više estetski učinak, ali slabo štite od korozije, pogotovo ako nije izvršena impregnacija uljem ili voskom. Impregnacija omogućava povećanje otpornosti na atmosfersku koroziju. Oksidni slojevi su mnogo čvršći i otporniji od hidratiranih oksida. Primjena bruniranja je najviše prisutna u proizvodnji oružja (bruniraju se vanjski dijelovi oružja), te unutarnji dijelovi optičkih uređaja zbog vrlo slabe refleksije svjetla crnih prevlaka. Također se bruniraju ukrasni predmeti, alati, čavli, različite spojnice i dr. [14]



Slika 50. Glodalo prije uranjanja u vrelu koncentriranu lužinu (lijevo), glodalo nakon bruniranja i impregniranja

5.2.8. Obrada elektroerozijom

Obrada materijala elektroerozijom (*engl. Electro Discharge Machining: EDM*) je proces obrade električki vodljivih materijala pomoću precizno kontroliranih izboja koji se odvijaju između elektrode (alat) i predmeta obrade u prisustvu dielektričnog sredstva. Razvoj elektroerozijskog procesa odvijao se paralelno u SSSR-u i SAD-u tijekom drugog svjetskog rata. Profesori Dr. Boris Lazarenko i Dr. Natalya Lazarenko, pokušavajući smanjiti rupičanje materijala električnih sklopki vojnih vozila, došli su do spoznaje, da prilikom dodavanja ulja u sklopke, rupičanje postaje ravnomjernije, nego kod rada sklopke u zraku. Ovu nuspojavu su tijekom 1943. godine primijenili za kontroliranu obradu teško obradivih materijala, razvivši otporne kondenzatorske strojeve. U isto vrijeme, u SAD-u, radnici Harold Stark, Victor Harding i Jack Beaver su u jednoj američkoj zrakoplovnoj industriji bili zaduženi za izvlačenje slomljenih svrdala i ureznica iz vrlo skupih aluminijskih kućišta hidrauličnih ventila. Oni su razvili stroj koji je iskrenjem kod prekida strujnog kruga postepeno erodirao materijal slomljenog svrdla. Odvođenje odstranjenog materijala iz rupe je izvedeno pomoću pritiska vode, a automatizacija stroja je izvedena pomoću elektromagnetskog pokretnog elementa. Od tada pa do 1969. godine u primjeni su bili samo strojevi sa punim elektrodama za upuštanje, a te godine pojavio se potpuno novi tip stroja koji je kao elektrodu (alat) koristio žicu. Razlika između novog i starog tipa stroja bila je u tome što je kod starijih tipova strojeva elektroda negativ dijela kojeg se obrađuje, a obrada se izvodi da se elektroda upušta u materijal obradka (slika 51.). U ovom slučaju elektroda je složenog oblika i njeno kretanje je jednostavno i ostvaruje se obično u vertikalnom pravcu. Kod drugog novijeg tipa stroja elektroda je žica koja se kreće u pravcu svoje osi, a obradak izvodi složeno gibanje po unaprijed programiranoj putanji. [18]

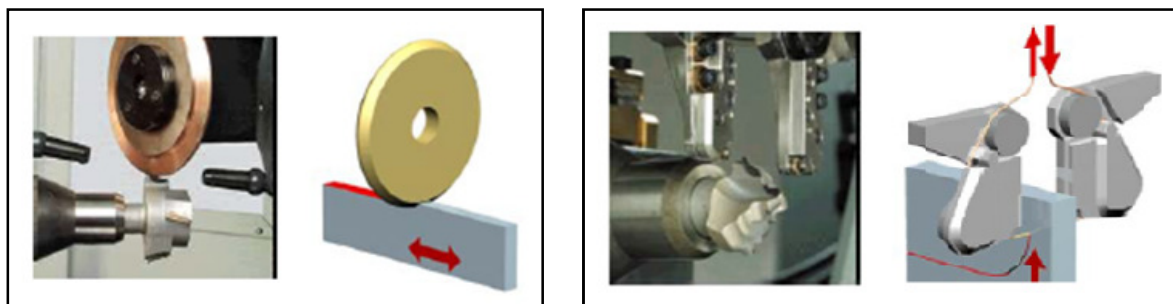


Slika 51. Elektroerozija uz pomoć žiga (lijevo) i žice (desno) [18]

5.2.8.1. **Elektroerozijska obrada alata za obradu drva s oštricom od polikristalnog dijamanta**

Kod obrade alata za obradu drva s reznim oštricama od polikristalnog dijamanta postoje dva osnovna postupka erodiranja, a to su:

- erodiranje rotacijskom elektrodom,
- erodiranje žičanom elektrodom.



Slika 52. Elektroerozija diskom (lijevo) i žicom (desno)

Princip rada strojeva koji kao elektrodu (alat) koriste rotacijski disk i koji kao alat koriste žicu je isti. Oba stroja imaju svoje prednosti i nedostatke s time da ipak više prednosti ima erodiranje žičanom elektrodom pogotovo kada se govori o izradi novih alata, ali isto tako i pri servisiranju oštećenih alata. Stroj na kojem će se oštrit glodalo je robotizirani petoosni stroj QWD 750H tvrtke Vollmer (slika 53.).

Osnovni djelovi ovog stroja su:

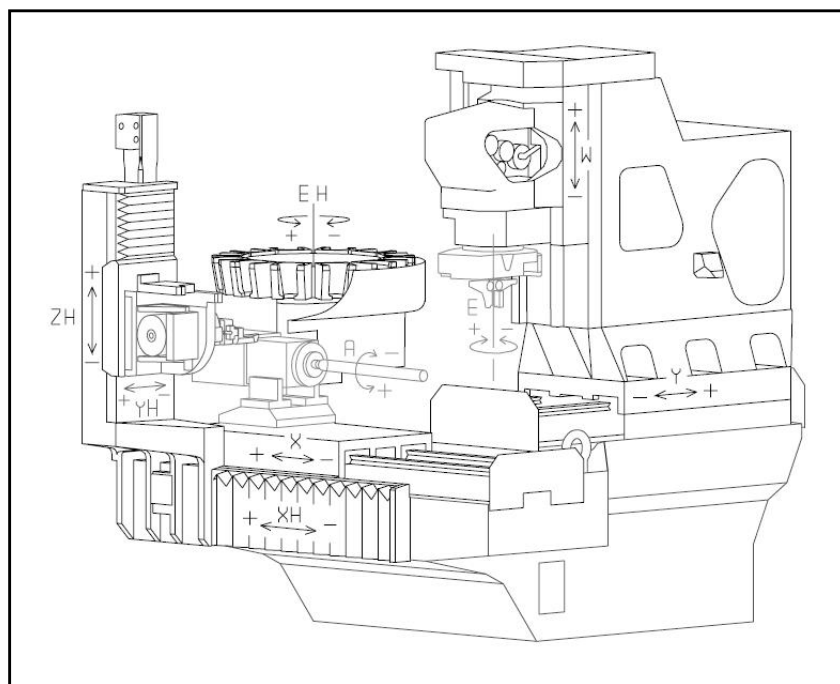
- upravljačka jedinica,
- sustav za filtriranje i protok dielektrikuma,
- generator električnih impulsa,
- sustav za pogon i vođenje žice,
- radni stol sa prihvatom alata,
- sustav za izmjenu alata.



Slika 53. Stroj QWD 750 H

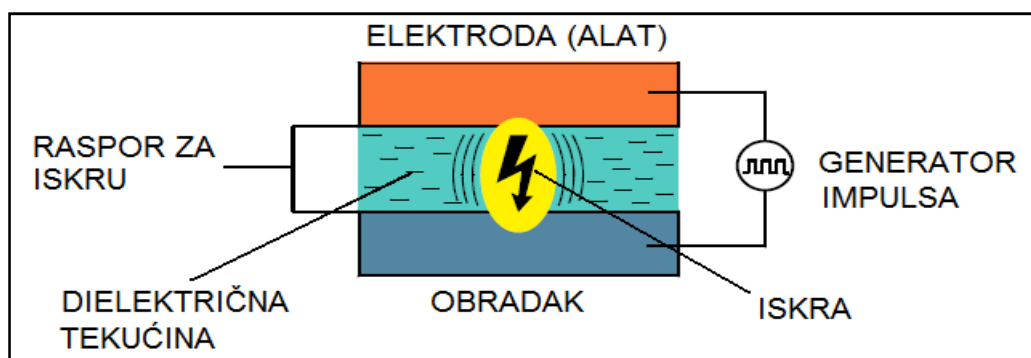
Kao što je već napomenuto stroj ima pet stupnjeva slobode gibanja što se može vidjeti iz slike 54. pa se tako žičana elektroda može izvoditi translacijsko gibanje u smjeru osi Y i W, i rotaciju oko osi E, dok obradak može rotirati oko osi A i izvoditi

translaciju u smjeru osi X. Osi X, Y, i W služe za dovođenje obradka i alata (elektrode) u točno određeni položaj, dok osi E i A služe za određivanje kuta rezne oštrice obratka. Iz slike se također može vidjeti sustav za izmjenu alata koji ima četiri stupnja slobode gibanja, a to su tri translacije koje izvodi ručica za prihvata obradka XH, YH, ZH i rotacija revolvera EH.



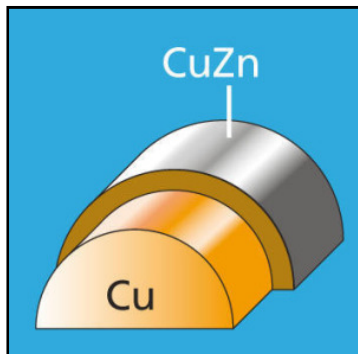
Slika 54. Prikaz osi stroja QWD 750H

Prvi i osnovni uvjet da bi se neki materijal mogao obraditi elektroerozijom je taj da provodi struju tj. da je električki vodljiv. Zahvaljujući električnoj vodljivosti PCD-a, oštrenje dijamantnih alata odvija se pomoću elektroerozije (električno pražnjenje, električno iskrenje) između elektroda (-) katode (alat) i (+) anode (obradak), priključenih na istosmjernu struju i stalno zalijeivane dielektričnom tekućinom (slika 55.).



Slika 55. Shematski prikaz obrade elektroerozijom [40]

Na mjestu gdje je razmak između elektroda najmanji dolazi do preskakanja iskre, što uzrokuje zagrijavanje, taljenje, isparavanje materijala, odnosno stvaranje malih kratera na obratku (slika 57.). U zoni zagrijavanja razvijaju se temperature od 8000 – 12000 °C. Žičana elektroda (alat) pri obradi se troši i mora se stalno kretati određenom brzinom. To se omogućuje pomoću sustava za pogon i vođenje žice koji omogućava da se nova žica stalno odmotava s koluta na kojem je namotana i preko sistema kolotura i vodicica namotava na kolut za istrošenu žicu. Sustav za vođenje i pogon žice ima zadatak da održava konstantnu napetost i brzinu žice te da osigura njeno precizno vođenje. Veliki je broj materijala za izradu žice za obradu elektroerozijom, a najčešće se koriste žice izrađene na bazi cinka i bakra. U usporedbi sa čistim bakrom koji ima veću električnu provodljivost, legure bakra imaju prednost u tome što imaju veću čvrstoću što im omogućuje postizanje većih sila prednaprezanja (napetost žice), a samim time i veću točnost obrade. U slučaju prevučenih žica moguće je kombinirati materijale koji imaju dobru električnu vodljivost i čvrstoću s onima koji imaju povoljan utjecaj na kvalitetu iskrenja i trošenja elektrode. Na Vollmerovim strojevima žičane elektrode imaju promjer od 0,15 do 0,3mm (slika 56.).



Slika 56. Žica (alat) za obradu

Važnu ulogu u obradi elektroerozijom ima dielektrična tekućina. Glavna karakteristika dielektrične tekućine je da se radi o elektroizolatoru, koji se kod pojave dovoljno velikog električnog napona pretvori u električni vodič. Dielektrična tekućina ostaje izolator, osim na mjestu najbliže udaljenosti između elektrode i predmeta obrade. U toj točki, električni napon uzrokuje promjenu svojstva dielektrične tekućine iz izolatora u vodič, što omogućava električni izboj. Točka kada se fluid mijenja u električni vodič je točka ionizacije. Kada se električni izboj isključi, dielektrična tekućina se deionizira, i ponovo postaje električni izolator.

Osim toga, dielektrična tekućina treba ispuniti i sljedeće zahtjeve: [19]

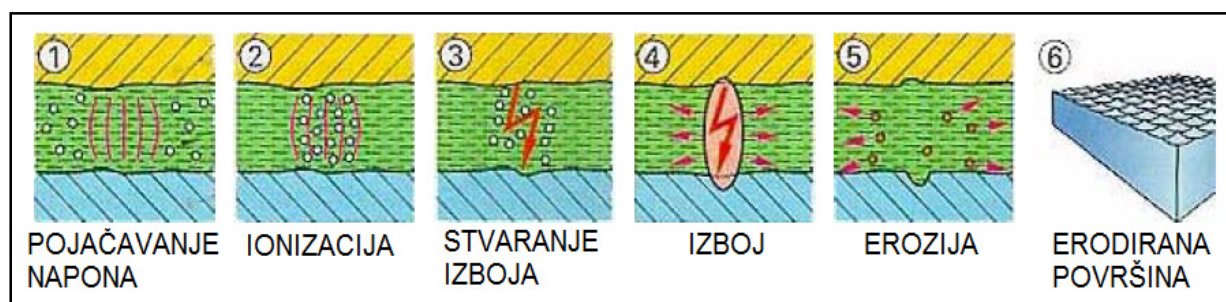
- izolirati alat (žicu) od predmeta obrade,
- hladiti alat i predmet obrade,
- ispirati produkte elektroerozije (nečistoće) iz prostora djelovanja iskre,
- poboljšanje kliznih svojstva na vodilicama žice,
- mora imati visoku točku plamišta,
- mora biti antikorozivna.

Kao dielektrična tekućina upotrebljava se mineralno ulje, tehnička voda i transformatorsko ulje. U ovom slučaju koristi se mineralno ulje koje ima dobra antikorozivna svojstva. Za održavanje konstantne kvalitete dielektrične tekućine veliku ulogu ima sustav za filtriranje i protok dielektrikuma, a zahtjeve koje ovaj sustav mora ispuniti su:

- osigurati dovoljan pritisak i protok dielektrika,
- filtracija i deionizacija zaprljanog dielektrika,
- hlađenje dielektrika i
- automatska kontrola protoka dielektrika.

Proizvođač stroja propisuje čišćenje filtera nakon 1000 sati rada, a ako se to ne napravi, postoje senzori koji upozoravaju na smanjeni protok dielektrika što je u direktnoj vezi sa čistoćom filtera.

Slijedeći dio stroja koji ima vrlo veliki utjecaj na brzinu i kvalitetu obrade je generator impulsa. Kao što mu samo ime govori generator impulsa proizvodi niz impulsa i prekida impulsa. Vrijednosti napona U , jakosti struje I , trajanje impulsa t , trajanje prekida impulsa t_0 podesive su i najčešće automatski regulirane programom. Ovisno o obradi koja može biti gruba i fina, generator proizvodi više ili manje jake impulse. Osim toga generator upravlja veličinom raspora za iskre kojeg mora održavati konstantnim.



Slika 57. Prikaz stvaranja izboja (iskre) i obrade elektroerozijom [40]

Raspor za iskru je međuprostor između obratka i elektrode. Što je manji raspor za iskru to je veći učinak odnošenja materijala i točnost izrade. Pomoću podešavanja posmaka, veličina raspora za iskru u ovisnosti od napona paljenja, održava se konstantnom. Prema učinku odnošenja i finoći obrađene površine raspor za iskru u slučaju ovog stroja iznosi od 0,004 do 0,03mm.

5.2.8.2. Parametri obrade

Razlikujemo tri osnovna tehnološka parametra pri obradi elektroerozijom, a to su:[19]

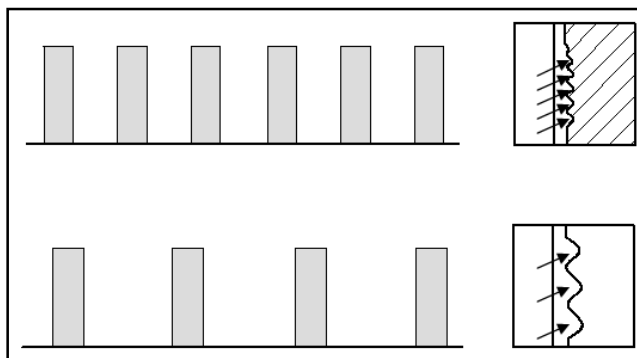
- produktivnost,
- točnost izrade,
- kvaliteta obrađene površine.

Produktivnost S je izražena u mm^2/min , a ovisi o slijedećim faktorima:

- materijalu obradka,
- parametrima generatora impulsa,
- materijalu elektrode,
- brzini podešavanja raspora za iskru,
- električnoj vodljivosti dielektrikuma.

Budući da je većina gore navedenih faktora već prethodno opisana, ovdje će biti opisano kako frekvencija impulsa utječe na produktivnost.

Frekvencija impulsa utječe na produktivnost tako da što je veća frekvencija to je veća i produktivnost (slika 58.). Frekvencija ne smije biti prevelika budući da pri većem broju pražnjenja dolazi do zagrijavanja elektrode što može dovesti do pucanja žice. Frekvencija impulsa tako je ograničena promjerom žice i zahtjevima na kvalitetu obrađene površine.



Slika 58. Kako frekvencija generatora impulsa utječe na obradu elektroerozijom [19]

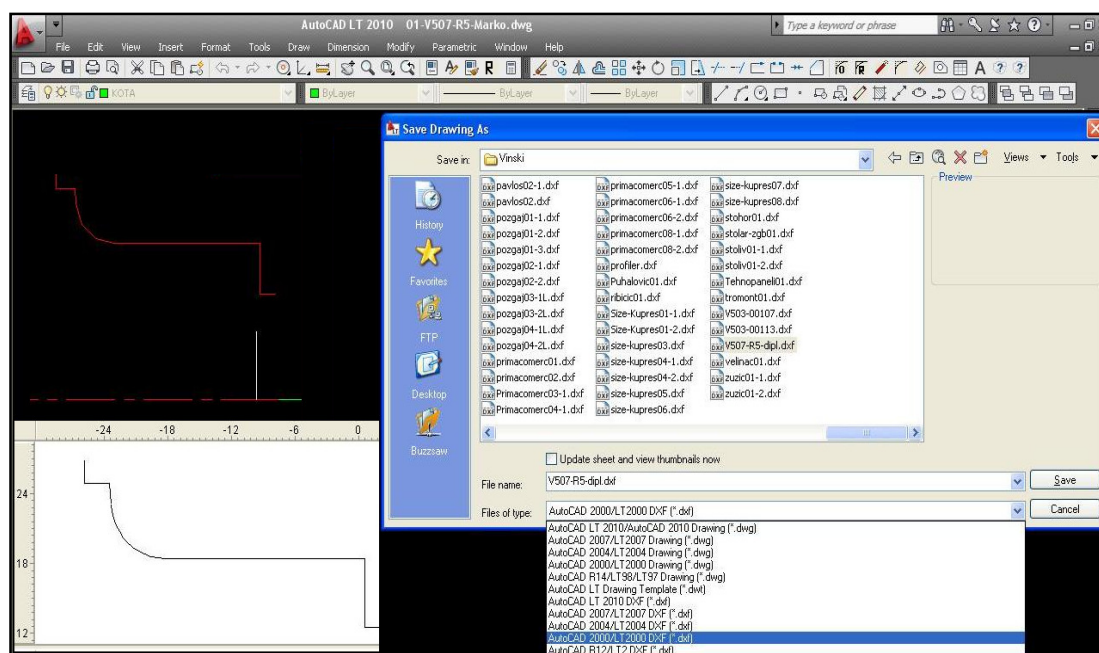
Točnost izrade najviše ovisi o karakteristikama samog stroja, a tu se podrazumjeva krutost stroja i točnost stroja. Isto tako važan utjecaj imaju zategnutost i brzina žice (ako je manja brzina, dolazi do pucanja, a ako je veća brzina, dolazi do koničnosti obrađenih oblika) te provodljivost dielektrikuma. Mnogi od ovih parametara i njihovih utjecaja na obradu već su opisani.

Kvaliteta obrađene površine ne podrazumjeva samo njenu hrapavost već i stanje obrađene površine budući da ona pretrpi značajne fizikalne i kemijske promjene. Površina obrađena elektroerozijom sastavljena je od niza udubljenja odnosno malih kratera. Elektroerozijom se može ostvariti širok raspon hrapavosti od $Ra=0,1\mu m$ do $Ra=31,5\mu m$. [19]

5.2.8.3. Postupak izrade rezne oštrice od PCD-a

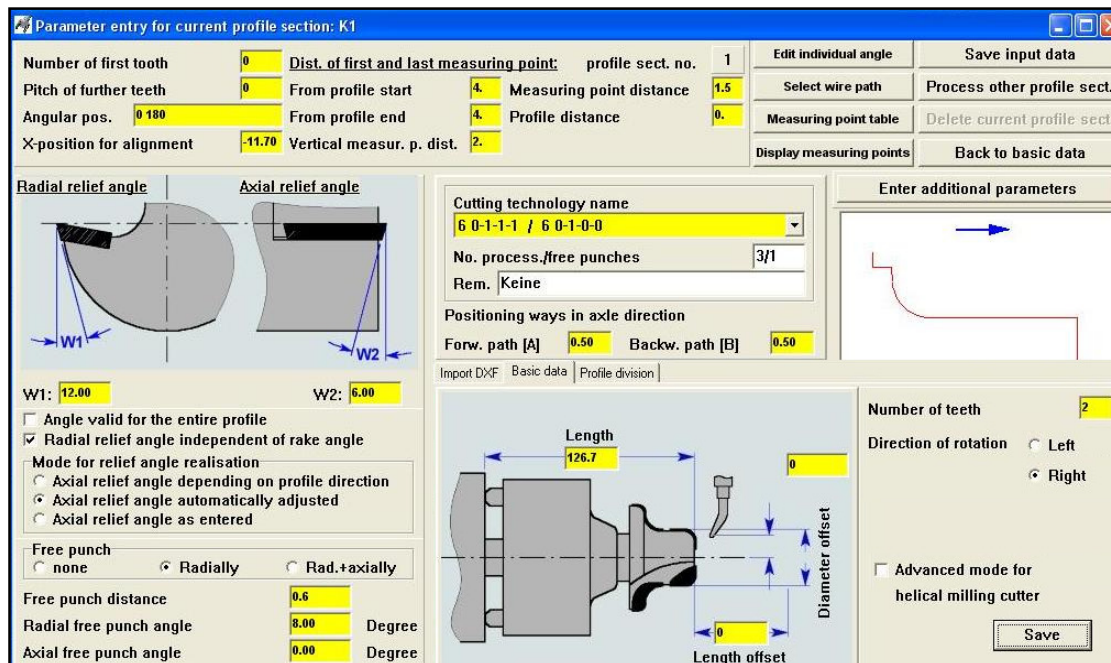
Postupak izrade rezne oštrice sastoji se od nekoliko faza:

1. Izrada dxf-a (slika 59.) – u Autocad-u se nacrtava profil buduće rezne oštrice u mjerilu 1:1. Osim profila ovdje se moraju još nacrtati i izlazi iz profila. Dxf format se radi zbog toga što softver koji je instaliran na stroju ima mogućnost čitanja takvog formata. Nacrtani profil je ustvari putanja žice prilikom obrade.



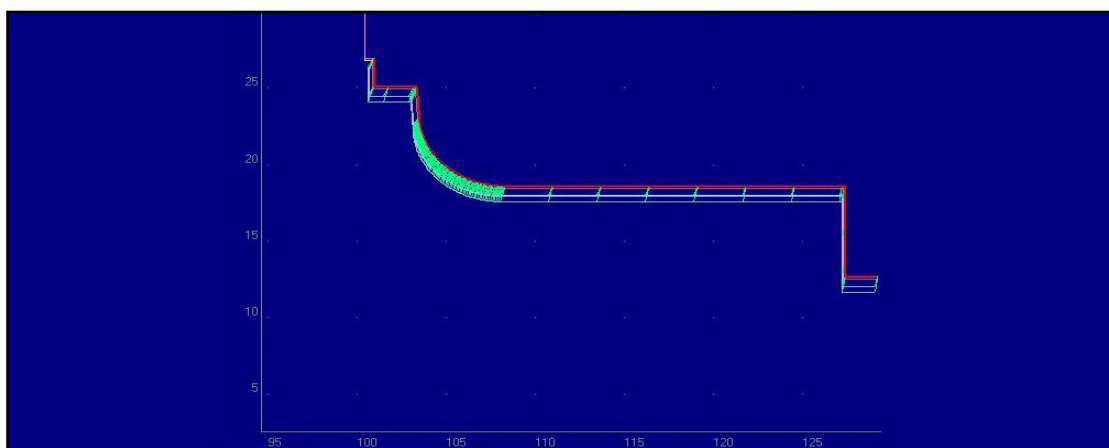
Slika 59. Izrada dxf-a u autocadu

2. Programiranje – u Vollmerov softver za programiranje (slika 60.) ubacuje se dxf profila koji je nacrtan u autocad-u. U program se upisuju karakteristične veličine za određeni alat kao što su broj reznih oštrica (broj zuba), smjer okretanja alata, kutevi koji su karakteristični za alat, kvalitetu obrade (grubo, fino, superfino), itd.

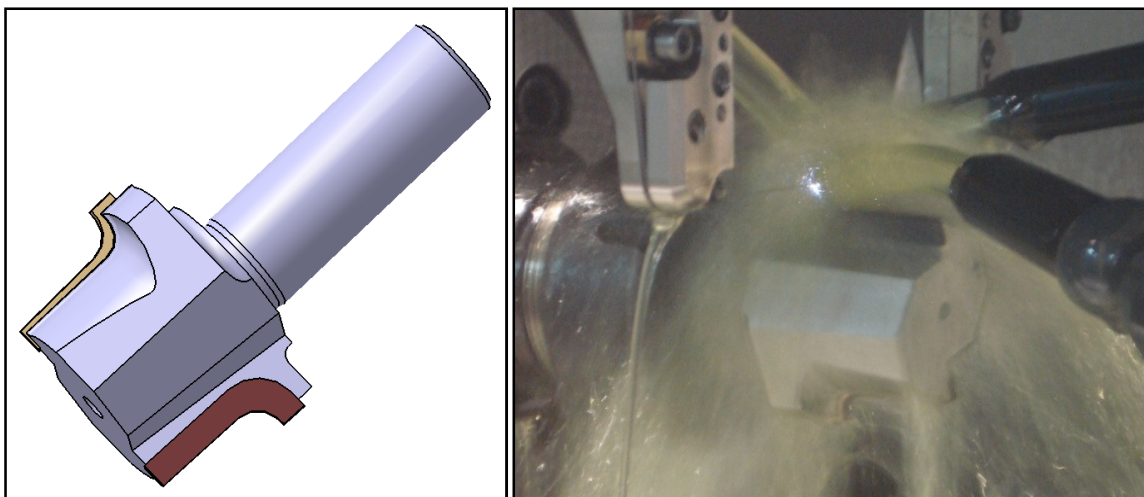


Slika 60. Program za definiranje rezne oštrice i putanje žice

3. Simulacija - nakon programiranja još jednom se provjerava jesu li sve veličine ispravno upisane i pusti se simulacija (slika 61.) koja pokazuje putanju žice prilikom obrade. Nakon toga operater stavlja glodalo u magazin za alate te uz pomoć laserske zrake pozicionira alat u točno određen položaj. Prije nego što se započne obrada elektroerozije potrebno je provjeriti je li stroj nuliran i je li napetost žice dovoljno velika. Nakon toga može se započeti s postupkom elektroerozije.



Slika 61. Simulacija putanje žice



Slika 62. 3D model glodala (lijevo) i oštrenje postupkom elektroerozije (desno)

5.2.10. Označavanje alata

Za upisivanje oznake na alat koristi se laser (slika 63.). Na računalu se u posebnom softveru izrađuje tekst u mjerilu 1:1 kojeg se želi upisati na glodalo (slika 64.). Laser ima mogućnost pisanja na radnom prostoru veličine 100x100 mm. Prije upisa podataka na alat potrebno je pravilno namjestiti parametre (struja, frekvencija i fokus). Alat se označava prema normi HRN EN 847-1.



Slika 63. Laser

Na alat se upisuje:

- ime proizvođača,
- dimenzije alata (promjer x širina x promjer drške / širina drške),
- broj zubi,
- materijal oštrice– HSS, HW, DP,
- maksimalan broj okretaja,
- vrsta posmaka (MEC-mehanički ili MAN- ručni).



Slika 64. Glodalo označeno prema normi HRN EN 847-1

5.3. Razrada plana kontrole

Kontrola glodala može se podijeliti na dva dijela:

1. kontrola glodala tijekom proizvodnog procesa (međufazna kontrola),
2. završna kontrola glodala (kontrola dimenzija i oblika, i uravnoteženosti mase)

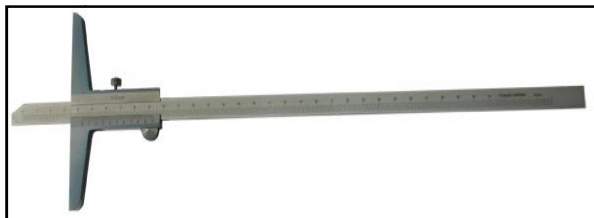
5.3.1. Kontrola glodala tijekom proizvodnog procesa

Budući da se radi o pojedinačnoj proizvodnji, međufazne kontrole vrše se tako da operater koji radi pojedinu operaciju nakon njenog završetka prekontrolira mjere prema tehničkom nacrtu i potpisuje se na radni nalog. Svojim potpisom operater potvrđuje i garantira da je izvršena kontrola i da su mjere u skladu s nacrtom.

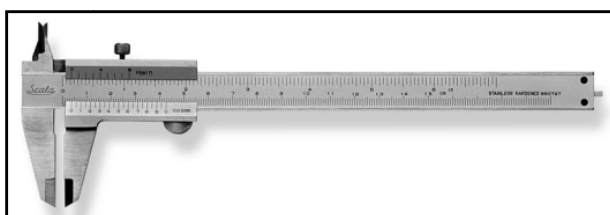
Mjerne naprave koje se koriste za provjeru dimenzija nakon pojedinih operacija su:

- dubinomjer (mjerno područje 200mm/0.05mm),
- pomično mjerilo (mjerno područje 250mm/0.05mm),
- mikrometar (mjerno područje 0-25 mm/0.01 mm),
- kutomjer, (mjerno područje 0-180 °/1 °)
- šablone za kontrolu radijusa.

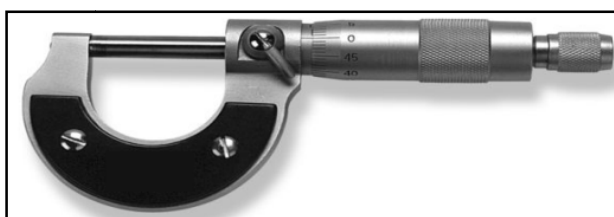
Vrlo važna kontrola je i ona vizualna (prostim okom), posebice nakon operacije glodanja (kontrola smjera vrtnje i broja zubi) i lemljenja gdje se gleda da nije došlo do pucanja ili deformacije reznih oštrica.



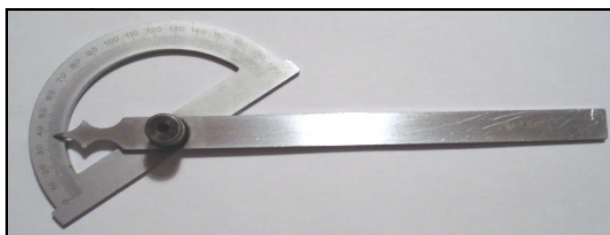
Slika 65. Dubinomjer



Slika 66. Pomično mjerilo



Slika 67. Mikrometar



Slika 68. Kutomjer



Slika 69. Šablone za kontrolu radijusa

Kontrola mjera po fazama izrade:

1. Rezanje – prije nego se počne sa rezanjem čeličnog trupca pomoću pomičnog mjerila, izmjeri se njegov promjer i nakon odrezivanja mjeri se dužina odrezanog obradka.
 - Mjerna naprava: pomično mjerilo.
2. Tokarenje – nakon izvršene operacije tokarenja vrši se kontrola zadanih mjera prema nacrtu za tokarenje (slika 32).
 - Mjerne naprave: pomično mjerilo i šablona za kontrolu radijusa.
3. Glodanje – nakon operacije glodanja prema glodačkom nacrtu (slika 33.) vrši se kontrola dimenzija i kuteva. Također se vrši vizualna kontrola smjera vrtnje i broja zubi.
Mjerne naprave: pomično mjerilo, dubinomjer, kutomjer.
4. Lemljenje – nakon lemljenja vrši se vizualna kontrola gdje se vodi računa je li pločica zalemljena u ležište za pločicu, i je li došlo do vidljive deformacije rezne oštrice ili do njenog pucanja.
5. Pjeskarenje – ponavlja se kontrola koja je opisana kod operacije lemljenja.
6. Brušenje drške – nakon operacije brušenja drške prema brusačkom nacrtu (slika 34.) kontroliraju se zadane mjere (tolerancijsko polje, cilindričnost i provjerava se u tri točke je li drška istog promjera - ne smije biti konusna).
 - Mjerna naprava: mikrometar.
7. Oštrenje elektroerozijom – prema zadanom nacrtu (slika 35.) vrši se kontrola promjera, kuteva i profila.
 - Mjerni uređaj: Zoller.
8. Balansiranje – prema normi DIN ISO 1940 vrši se dinamičko balansiranje glodala.
 - Uređaj za balansiranje: Haimer.
9. Bruniranje – vizualnom kontrolom utvrđuje se da nije došlo do oštećenja rezne oštrice i je li prevlaka dobro prekrila površinu glodala.
10. Upisivanje oznake – prema normi HRN EN 847-1 i prema nacrtu provjerava se jesu li svi potrebni podaci upisani i jesu li točno upisani.

5.3.2. Završna kontrola

Završna kontrola glodala sastoji se od dva dijela:

1. kontrola dimenzija i oblika,
2. kontrola uravnoteženosti mase (balansiranje).

5.3.2.1. Kontrola dimenzija i oblika

Kontrola dimenzija i oblika vršit će se na CNC optičkom mjernom uređaju „Zoller smartcheck“ koji je namijenjen za automatsko mjerenje vanjskih kontura alata te za mjerenje radijalne i aksijalne geometrije alata. Oprema koju ima ovaj uređaj omogućuje provjeru trošenja i oštećenja reznih oštrica alata u 2D i 3D modelima s uvećanjem i do 50 puta. Mjerenja i rezultati kontrole (inspekcije) mogu se sačuvati i printati u obliku izvještaja o mjerenju. Ovi izvještaji se mogu prilagoditi prema zahtjevima nekog poduzeća, npr. logo, različiti parametri itd. Drugi važan podatak je mogućnost direktnog prebacivanja rezultata mjerenja u strojeve na kojima će se taj alat oštiti.

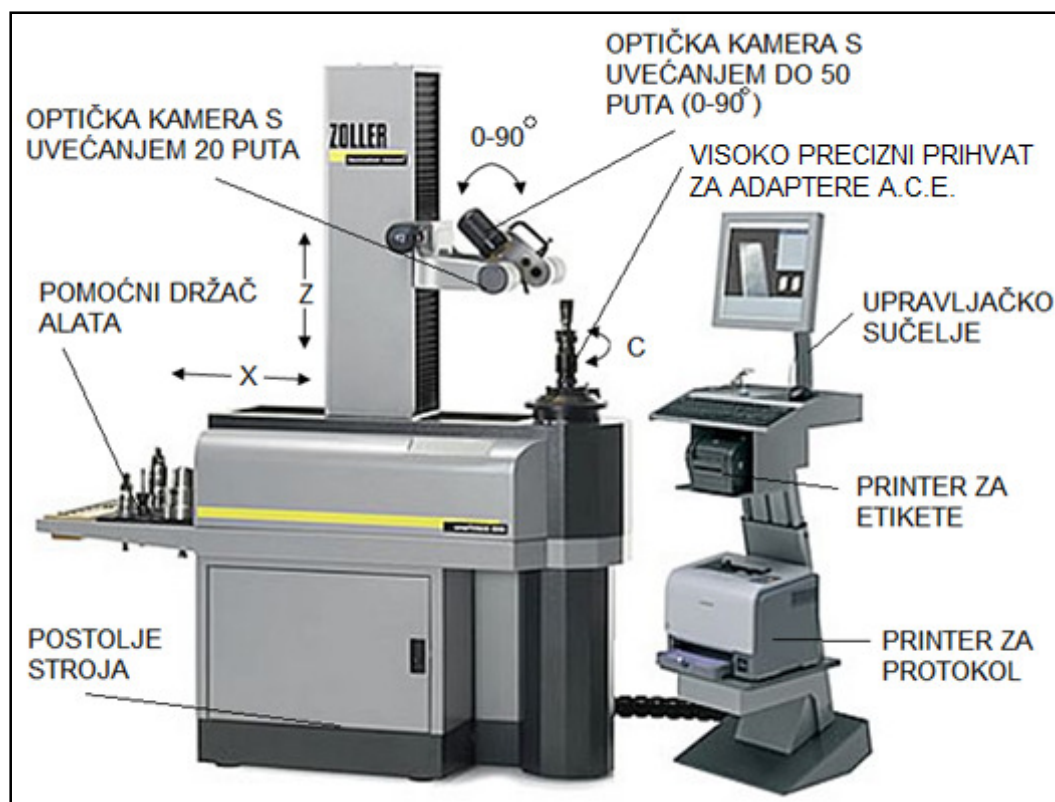
Ovaj optički mjerni uređaj idealan je za :

- kontrolu proizvodnje alata,
- kontrolu naoštrenih alata,
- inspekciju alata koji dolaze na servis.

Zoller smartcheck uređaj (slika 70.), opremljen je s rotirajućom optičkom kamerom koja omogućuje mjerenje aksijalne i radijalne geometrije.

Prednosti mjernog uređaja su:

- mogućnost automatskog mjerenja i inspekcije reznih alata u 2D i 3D modelu,
- mogućnost ručnog, poluautomatskog i automatskog mjerenja,
- opremljenost softverom „pilot 3.0“
- mogućnost radijalnog i aksijalnog mjerenja uz pomoć rotirajuće optičke kamere,
- mogućnost printanja i elektronskog arhiviranja izvještaja o mjerenju,
- mogućnost mjerenja različitih parametara koji su bitni za kontrolu rezne oštrice, ali i ostalih djelova alata (mjerenje radijalnih kontura, kuta rezanja, mjerenje udara i koncentričnosti, stepenastih glodala s drškom itd.).



Slika 70. Zoller smatrcheck

Tehnički podaci: [39]

- radni hod osi Z=600 mm,
- radni hod osi X=220 mm,
- rotacija osi C=360°,
- ponovljivost +/- 2μ,
- točnost postavljanja <2μ,
- točnost prikaza na ekranu 1μ,
- točnost pozicioniranja ± 1μ,
- koncentričnost na dnu osovine 2μ,
- koncentričnost na 300 mm / 3 μ,
- koncentričnost na 500 m / 5 μ,
- točnost mjerenja $E=3+L/250$.

Ono što ovaj uređaj čini jednostavnim za upotrebu je sistem različitih modula softvera koji omogućuje odabir optimalnih komponenti i modula koji će najbolje odgovoriti na specifične zahtjeve proizvodnog procesa. Ime softvera je pilot 3.0, a može se koristiti za ručne operacije, za automatsko prepoznavanje rezne oštrice, pa sve do 3-osnih

CNC kontroliranih operacija mjerenja. Pilot 3.0 je prikladan za svaku aplikaciju i posebno je preporučljiv u automatiziranom proizvodnom okruženju s velikim brojem izmjena alata. Pilot 3.0 se također koristi za kontrolu (inspekciju) alata.

Prednosti softvera pilota 3.0:

- 17 inčni ekran na dodir, miš i tipkovnica,
- integrirani sistem za pomoć koji omogućuje dodatne informacije o ostalim funkcijama,
- mjerenje u stvarnom vremenu i dinamički pokazivač koji automatski pronalazi rezu oštricu unutar nekoliko sekundi,
- grafička pomoć za brzo fokusiranje,
- podrška uobičajenim formatima kao što su TIFF, JPEG, PNG, DWG, DXF,
- automatsko nuliranje stroja da se izbjegnu pogreške pri mjerenju,
- automatsko detektiranje oblika rezne oštrice,
- kontrola rezne oštrice,
- mogućnost korištenja kao profil projektor,
- mogućnost prikaza kako će alat stvarno raditi.

Visoko precizni prihvat adaptera A.C.E. (slika 71.) omogućuje veliku fleksibilnost ovog uređaja za mjerenje jer je izmjena alata vrlo jednostavna. Uz pomoć različitih vrsta adaptera moguće je prihvatiti različite vrste prihвата za alate kao što su HSK, ISO itd.



Slika 71. Prihvat adaptera (lijevo) i adapteri (desno) [39]

5.3.2.2. Kontrola uravnoteženosti mase (balansiranje)

Većina alata za obradu drva su rotacijska tijela koja se montiraju na vratilo radnog stroja (u slučaju alata s provrtom) ili se montiraju na neki od raznih vrsta prihvata za takve alate (u slučaju alata s drškom). Uslijed rotacije alata centrifugalna sila uzrokuje udarno opterećenje ako alat nije uravnotežen (alat je u debalansu).

Centrifugalna sila se javlja kad težište alata ne leži na osi rotacije. Već i mali debalans alata uzrokuje brzo trošenje ležišta, a veći debalans može dovesti do loma vratila, prihvata alata ili samog alata. Vibracije koje pritom nastaju daju lošu kvalitetu obrade i brzo trošenje oštrica. Da bi to spriječili vrši se dinamičko balansiranje glodala na dinamičkoj balansirki Haimer 2002 (slika 72.).



Slika 72. Stroj za balansiranje (lijevo), skidanje mase bušenjem (desno)

Balansiranje se izvodi tako da se glodalo učvrsti na priхват balansirke i u računalu se upišu osnovni podaci o alatu: masa alata, promjer alata, promjer svrdla kojim se buši, itd. (slika 73.). Nakon toga uređaj zarotira alat i okreće ga nekoliko sekundi. Nakon zaustavljanja alat se zakreće za 180° oko svoje osi pa se alat ponovno zarotira i pričekava se da se rotacija zaustavi.

Kada se alat u potpunosti zaustavi na ekranu se pokažu podaci koji govore gdje je potrebno fizičko balansiranje tj. skidanje mase u definiranim točkama.

Ta masa se skida ubušivanjem svrdla u točno određenu točku na točno određenom promjeru glodala. Nakon toga se postupak ponavlja sve dok se ne ukloni višak materijala koji stvara debalans i dok vrijednost softverski izračunatog broja okretaja alata ne bude jednaka ili veća zadanom broju okretaja.

The screenshot shows the 'Edit tool data' window of the TD 2002 3.02 software. The window is divided into several sections:

- Top Bar:** Displays 'TD 2002 3.02' and the company logo 'Franz Haimer GmbH' with website 'www.haimer.de' and email 'technik@haimer.de'.
- Tool Identification:** Fields for 'Name 1' (Name 1), 'Name 2' (Name 2), and 'speed [1/min]' (1100).
- Method of balancing:** A dropdown menu set to '1 plane (statically)'.
- Permissible residual unbalance:**
 - ☒ Balance quality grade acc. to ISO 1940
 - Balance qual. grade G = 6.3
 - Service speed n = 30000 rpm
 - Weight M = 0.33 kg
 - ☐ Input of numerical value [gmm]
 - U(perm.bot.) = 0.66
- Tool Geometry Diagram:** A technical drawing of a drill bit with dimensions:
 - Lower balancing plane (indicated by a dashed line)
 - No. components: 4
 - First angle [°]: 0
 - DI [mm]: 35
 - HI [mm]: 130
- Correction bottom:** A dropdown menu set to 'by drilling'.
 - Max. number of drills = 1
 - Drilling diameter, bottom = 5 mm
 - Max. drilling depth, bottom = 10 mm
- Bottom Bar:** Function keys: F2 Balancing, F3 Store tool, F4 Manage, F5 Calibration, F10 Quit.

Slika 73. Prikaz na ekranu računala u koji se upisuju parametri potrebni za balansiranje

Kvaliteta balansiranja određena je standardom DIN ISO 1940. Veličina dopuštenog debalansa rotirajućih alata definira se veličinom G-klase i izražava jedinicom mm/s. Vrijednost G-klase 16, odnosno klasa G 16, dopušta se za grubo balansiranje alata koji se rabe na starim strojevima i pri niskim brojevima okretaja. Klasa G 6.3 zahtijeva se za finije balansiranje alata koji rade na višim brojevima okretaja i na strojevima nove generacije (CNC glodalice, obradni centri).

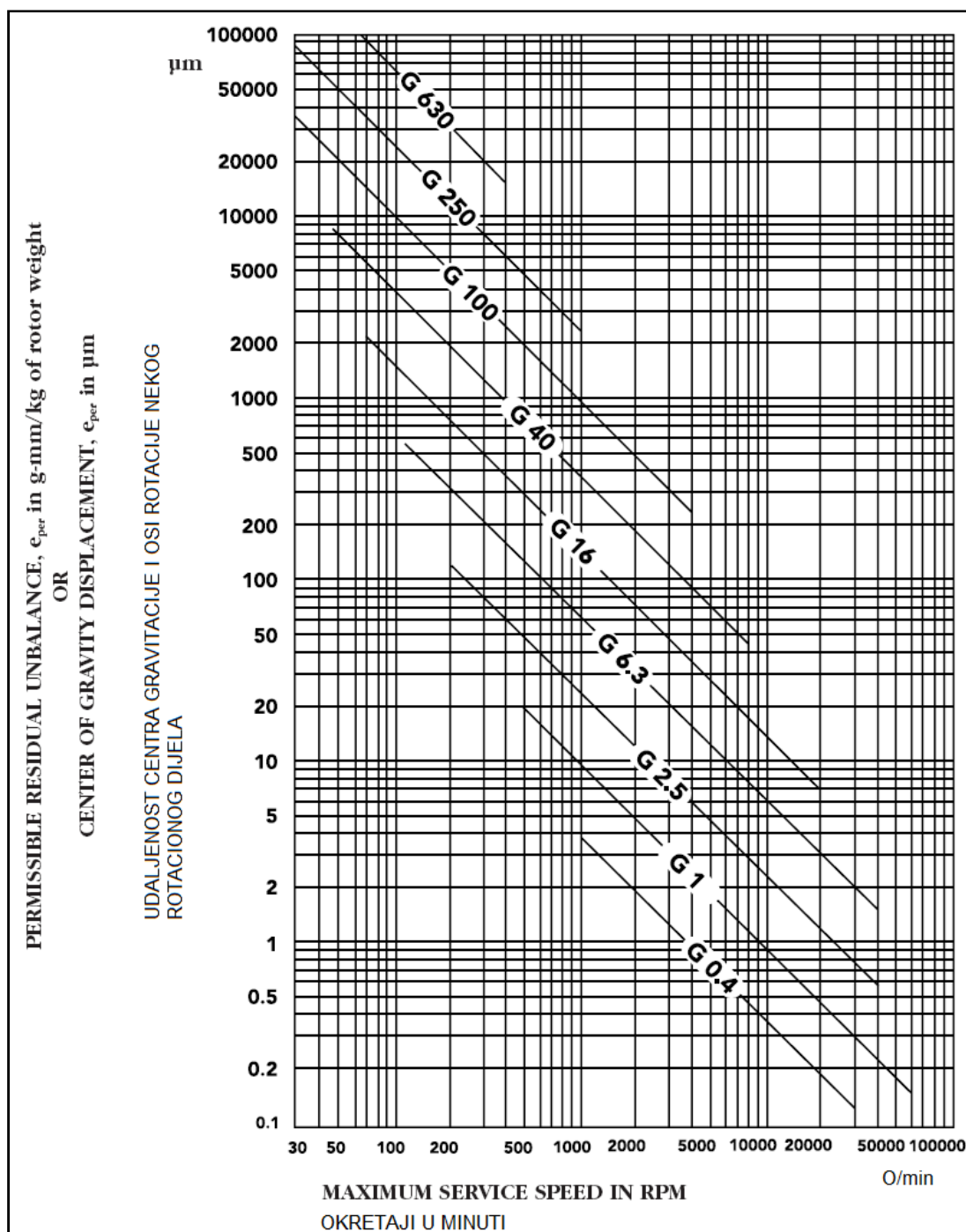
Balance Quality Grade	Product of the Relationship ($e_{per} \times \omega$) ^{(1) (2)} mm/s	Rotor Types - General Examples
G 4 000	4 000	Crankshaft/drives ^a of rigidly mounted slow marine diesel engines with uneven number of cylinders ^a
G 1 600	1 600	Crankshaft/drives of rigidly mounted large two-cycle engines
G 630	630	Crankshaft/drives of rigidly mounted large four-cycle engines Crankshaft/drives of elastically mounted marine diesel engines
G 250	250	Crankshaft/drives of rigidly mounted fast four-cylinder diesel engines ^a
G 100	100	Crankshaft/drives of fast diesel engines with six or more cylinders ^a Complete engines (gasoline or diesel) for cars, trucks and locomotives ^b
G 40	40	Car wheels, wheel rims, wheel sets, drive shafts Crankshaft/drives of elastically mounted fast four-cycle engines with six or more cylinders ^a Crankshaft/drives of engines of cars, trucks and locomotives
G 16	16	Drive shafts (propeller shafts, cardan shafts) with special requirements Parts of crushing machines Parts of agricultural machinery Individual components of engines (gasoline or diesel) for cars, trucks and locomotives Crankshaft/drives of engines with six or more cylinders under special requirements
G 6.3	6.3	Parts of process plant machines Marine main turbine gears (merchant service) Centrifuge drums Paper machinery rolls; print rolls Fans Assembled aircraft gas turbine rotors Flywheels Pump impellers <u>Machine-tool and general machinery parts</u> Medium and large electric armatures (of electric motors having at least 80 mm shaft height) without special requirements Small electric armatures, often mass produced, in vibration insensitive applications and/or with vibration-isolating mountings Individual components of engines under special requirements
G 2.5	2.5	Gas and steam turbines, including marine main turbines (merchant service) Rigid turbo-generator rotors Computer memory drums and discs Turbo-compressors Machine-tool drives Medium and large electric armatures with special requirements Small electric armatures not qualifying for one or both of the conditions specified for small electric armatures of balance quality grade G 6.3 Turbine-driven pumps
G 1	1	Tape recorder and phonograph (gramophone) drives Grinding-machine drives Small electric armatures with special requirements
G 0.4	0.4	Spindles, discs and armatures of precision grinders Gyroscopes

ALATI I DIJELOVI
STROJEVA

Slika 74. Klase balansiranja (za alate G 6.3) [20]

Sustav za stezanje ima jako veliku važnost. On je direktna veza između glavnog vretena stroja i alata. Za balansiranje prihvata i alata uzima se kvaliteta balansiranja G 6.3 što je prikazano na slici 74.

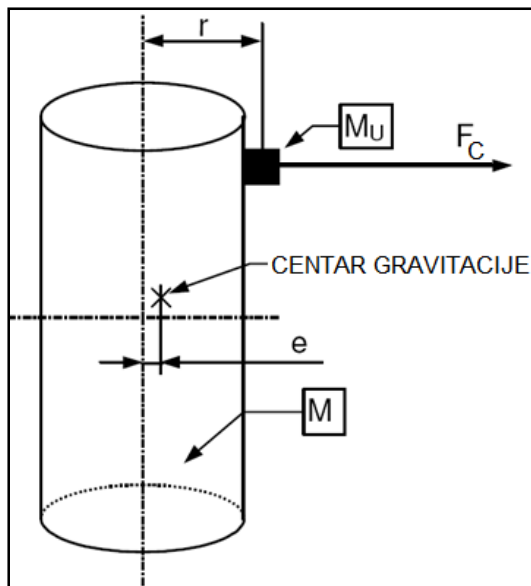
Na slici 75. je prikazano područje djelovanja pojedine klase balansiranja. Na apscisi je prikazan broj okretaja nekog rotirajućeg dijela n [o/min], a na ordinati je prikazana ekscentričnost, odnosno udaljenost od centra gravitacije do osi rotacije e iskazano u mikrometrima [μm]. Iz slike se jasno može vidjeti da što je veći broj okretaja na kojemu se neki rotirajući dio može vrtjeti, ekscentričnost (udaljenost centra gravitacije od osi rotacije) je manja.



Slika 75. Područje djelovanja pojedine klase balansiranja [20]

Da bi bilo jasnije što je to debalans i zašto je potrebno balansirati alat, najbolje je pogledati sliku 76. koja prikazuje karakteristične veličine debalansa za bilo koji rotirajući dio.

Da bi neki rotirajući dio bio savršeno izbalansiran, os rotacije i centar gravitacije moraju se poklapati. U praksi je takvo što nemoguće. Moguće je jedino da udaljenost e [μm] između osi rotacije i centra gravitacije bude što manja.

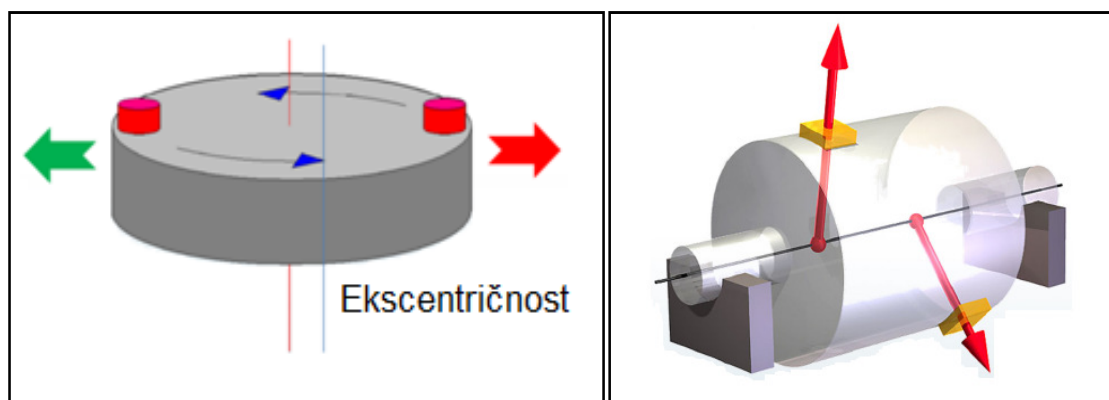


Slika 76. Shematski prikaz debalansa [38]

M_U [kg] – neuravnotežena masa
 r [mm] – udaljenost neuravnotežene mase od osi rotacije
 M [kg] – masa alata
 e [μm] – ekscentričnost (udaljenost od centra gravitacije do osi rotacije)
 F_C [N] – centrifugalna sila
 Veličina debalansa:
 $U = M_U \times r = M \times e$; [g*mm] ili [kg*μm]
 Ekscentričnost:
 $e = U/M$ [μm]

Utjecaj nebalansiranih prihvata alata i alata na stroj je sljedeći:

- ako je prihvat alata u debalansu može doći do velike centrifugalne sile pri većem broju okretaja,
- centrifugalna sila može uzrokovati vibracije i opterećenje glavnog vretena stroja,
- prihvat u debalansu iz gore navedenih razloga može oštetiti glavno vreteno, stroj i alat,
- debalans može smanjiti vijek trajanja alata i glavnog vretena te točnost izrade i kvalitetu obrađene površine,
- debalans može imati loš utjecaj na radne performanse stroja.



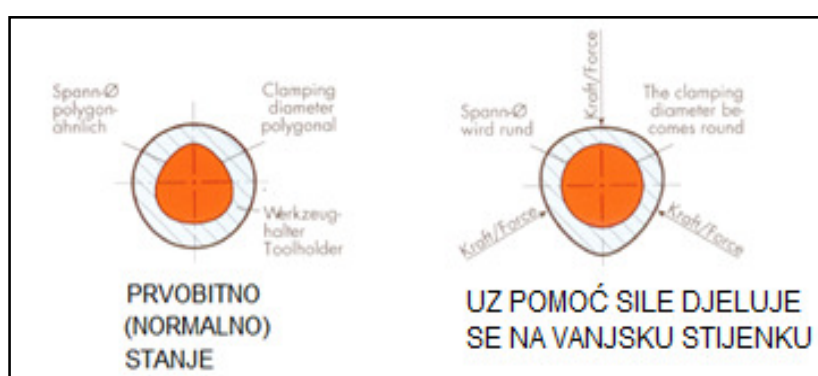
Slika 77. Ekscentričnost [38]

Balansiranje prihvata alata i alata potrebno je iz sljedećih razloga:

- sprečavanje oštećenja ležajeva glavnog vretena,
- povećanje životnog vijeka trajanja alata tj. povećanje razdoblja od oštrenja do oštrenja,
- manja udarna opterećenja alata,
- veći posmaci, bolji režimi rada,
- bolja kvaliteta obrađene površine,
- veća točnost obrađenih površina.

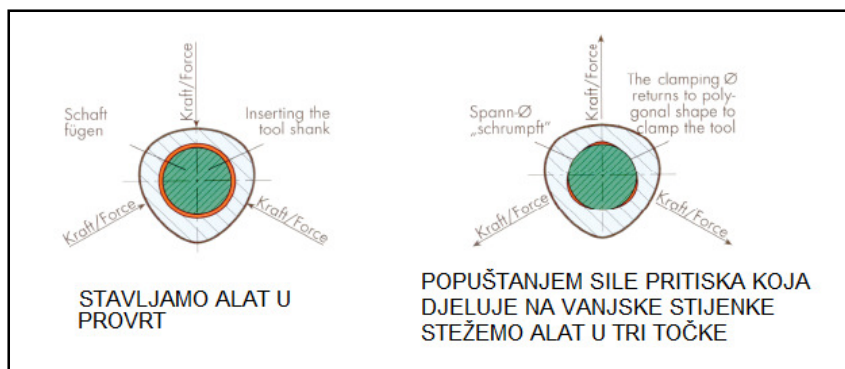
Kako bi se još više shvatila važnost balansiranja, u slijedećoj tablici navedene su različite vrste HSK 63F prihvata za alate koji se mogu koristiti na nadstolnoj glodalici karakterističnoj za ovaj slučaj. Ispitivanje koje je prikazano u tablici 15., općenito prikazuje utjecaj načina stezanja na debalans koji se javlja kod sustava priхват-alat. Načini stezanja koji su karakteristični za prihvate HSK 63F su:

- TRIBOS prihvat - stezanje u tri točke. U prvobitnom stanju vanjska stijenka prihvata je cilindričnog oblika, a unutarnja stijenka, odnosno provrt u koji se steže alat, u obliku nepravilnog trokuta. Kada se uz pomoć mehaničke naprave (poluge) djeluje silom na vanjsku stijenku ona poprimi oblik nepravilnog trokuta, a unutarnja stijenka provrta poprimi cilindrični oblik (slika 78.).



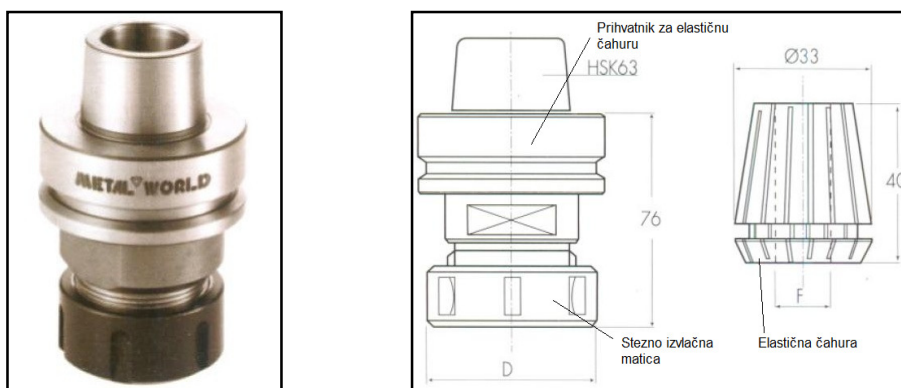
Slika 78. Tribos prihvat u prvobitnom stanju [40]

Kada unutarnja stijenka poprimi oblik cilindra, u nju se stavlja alat na potrebnu duljinu stezanja. Nakon toga se otpusti poluga za stezanje na mehaničkoj napravi i alat se stegne u tri linije jer se unutarnja stijenka provrta pokušava vratiti u prvobitno stanje i pritom stvara pritisak na dršku alata (slika 79.).



Slika 79. Stezanje alata u tribos prihvat [40]

- Termo prihvat – alat se hladi, a prihvat grije. Na taj način povećava se provrt prihvata, a smanjuje se promjer drške alata. Kada alat upadne u provrt, prestane se grijati prihvat. Time se omogućuje vraćanje provrta i drške u prvobitno stanje koje uzrokuje stvaranje pritiska između drške alata i unutarnjeg provrta prihvata te vrlo precizno stezanje.
- Prihvat s elastičnim čahurama (slika 80.) – ovo je najraširenija vrsta prihvata koja se koristi u drvenoj industriji i točnost njenog stezanja nešto je lošija od točnosti stezanja prethodno navedenih prihvata. Ova vrsta prihvata sastoji se iz tri dijela, a to su prihvatnik elastične čahure, elastična čahura i stezno-izvlačna matica.



Slika 80. Prihvat s elastičnom čahurom [26]

Princip stezanja je taj da se elastična čahura zajedno sa stezno-izvlačnom maticom stavi u prihvatnik. Nakon toga se u elastičnu čahuru stavi alat. Stezanjem matice unutarnji konus prihvatnika i konus elastične čahure smanjuju unutarnji promjer čahure što uzrokuje njeno stezanje oko drške alata. U ovakvu vrstu prihvata stezat će se glodalo konstruirano za potrebe ovog diplomskog rada.

	Tribos	Termo prihvat	Prihvat s čehurom-novi	Prihvat s čehurom -stari
Alat s drškom Masa alata Debalans alata	250 g 1 gmm	250 g 1 gmm	250 g 1 gmm	250 g 1 gmm
Prihvat alata Masa prihvata Debalans prihvata	790 g 0,9 gmm	1300 g 1,3 gmm	1400 g 10 gmm	1400 g 10 gmm
Točnost stezanja između alata i prihvata	0,003 mm	0,006 mm	0,02 mm	0,06 mm
Rezultirajući debalans (alat-prihvat)	0,75 gmm 0,003mmx250g	1,5 gmm 0,006x250	5 gmm 0,02x250	15 gmm 0,06x250
Točnost stezanja između prihvata alata i glavnog vretena stroja	0,004	0,004	0,004	0,004
Rezultirajući debalans (glavno vreteno-prihvat s alatom)	4,2 gmm 0,004mmx1040g	6,2 gmm 0,004x1550	6,6 gmm 0,004x1600	6,6 gmm 0,004x1600
Debalans cijelog sustava (stroj-prihvat-alat)	6,85 gmm	10 gmm	22,6 gmm	32,6 gmm

Tablica 15. Usporedba različitih načina stezanja za HSK 63F prihvate za alate s drškom[40]

U tablici 15. dane su usporedbe različitih načina stezanja za HSK 63F prihvate, pa se može vidjeti da je tribos sustav stezanja u tri linije najprecizniji i njegova je prednost u tome što daje vrlo veliku točnost stezanja i vrlo mali debalans. Osim toga za njegovo stezanje dovoljna je snaga mišića.

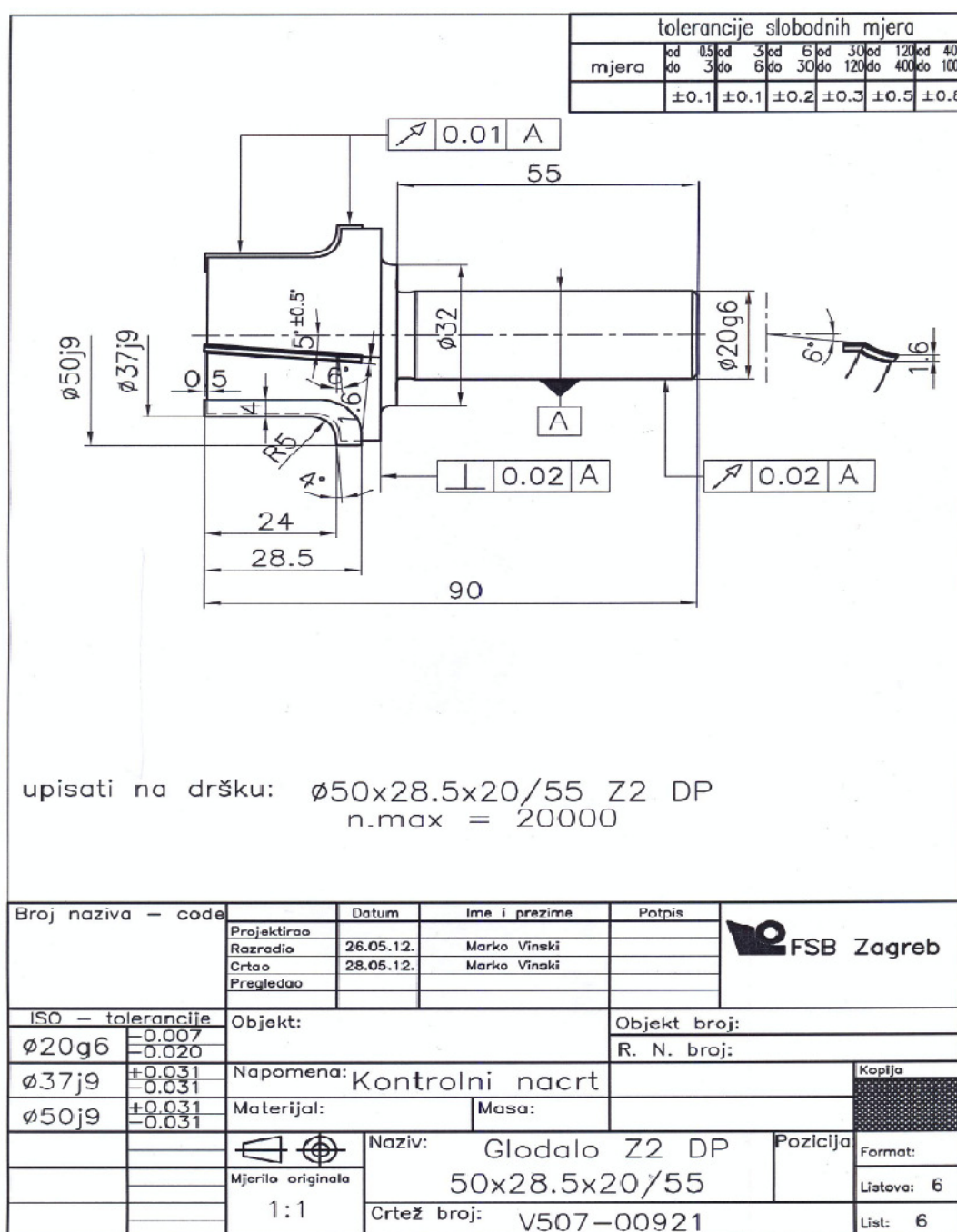
Slijedeći način stezanja koji je po točnosti najbliži tribosu je termo prihvat. Da bi se alat stegnuo na ovaj način, potrebno je imati posebne uređaje koji mogu zagrijati prihvat i ohladiti dršku alata. Takvi prihvat su skupi što im je najveći nedostatak u odnosu na druge prihvate.

Prihvati s elastičnim čahurama imaju najlošiju točnost stezanja i najveći debalans, ali je cijena takvih prihvata najprihvatljivija. Bez obzira na njihove nedostatke, kvaliteta površine koja se obrađuje s alatom koji je stegnut u takav prihvat je izuzetno dobra i oni se u drvnoj industriji najviše koriste.

6. ISPITIVANJE PROFILNOG GLODALA Ø50x28.5x20/55 DP

Ispitivanje profilnog glodala izvršit će se u četiri faze:

1. mjerenje promjera drške glodala u tri ravnine,
2. mjerenje promjera reznih oštrica i radijalno odstupanje od kružnosti vrtnje (udar),
3. mjerenje prednjeg i stražnjeg kuta rezne oštrice,
4. mjerenje bočnog stražnjeg kuta,
5. kontrola uravnoteženosti mase (balansiranje).



Slika 81. Kontrolni nacrt.

Prije početka samog mjerenja važno je reći da mjerni uređaj „Zoller“ ima mogućnost da se os alata poravna s osi stroja (Z-osi) što mjerenje na ovom mjernom uređaju čini vrlo preciznim. Ovo je velika prednost ovog mjernog uređaja jer se greške koje se javljaju i koje su neovisne o mjerenju mogu svesti na minimum. Moguće greške su:

- nečistoće (alat i prihvat za alate prije mjerenja moramo dobro očistiti),
- točnost stezanja prihvatnika za alat (npr: HSK 63F).

Prilikom stezanja može doći do grešaka između:

- sustava alat - prihvatnik za alate,
- prihvatnika za alate i adaptera za prihvatnike alata i
- između adaptera za prihvatnike alata i prihvaća za adaptere.

Da bi sve te greške otklonili mjerni uređaj mjeri dršku alata u dvije mjerne ravnine koje su različite po visini (Z-os). Na taj način se uz pomoć softvera poravna os alata s osi stroja i otklanjaju se greške koje su nastale uslijed stezanja. Kao rezultat mjerenja dobivamo stvarne mjere alata. Na ovaj način je izvršeno mjerenje glodala koje je izrađeno u svrhu ovog diplomskog rada.



Slika 82. Mjerni uređaj Zoller

Radi boljeg razumijevanja kontrolnih listova u tablici 16. dani su prijevodi za pojedine pojmove koji se spominju u njima.

Lengthways dimension	Pozicioniranje po osi Z
Crossways dimension	Pozicioniranje po osi X
Nominal value	Nominalna (zadana) vrijednost
Upper tolerance	Gornja tolerancija
Lower tolerance	Donja tolerancija
Actual value	Izmjerena (stvarna) vrijednost
Run out radial	Radijalno odstupanje od kružnosti vrtnje (udar)
Difference	Razlika između najveće i najmanje mjere

Tablica 16. Prijevod pojmova iz kontrolnih listova

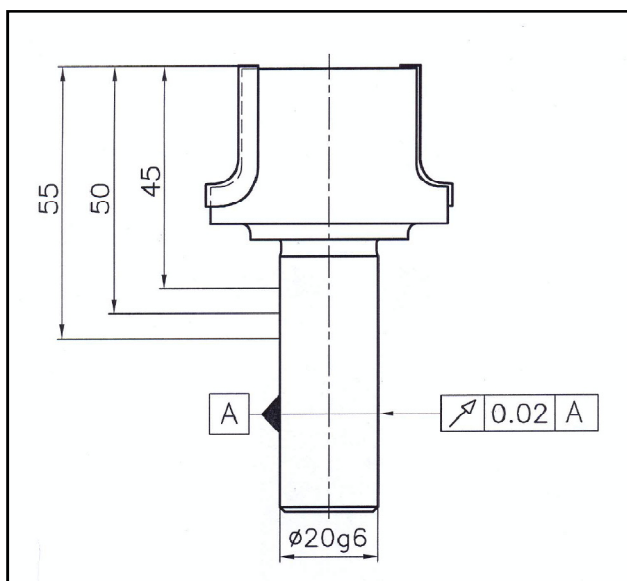
6.1. Mjerenje promjera drške u tri ravnine

Mjerenje promjera drške glodala prikazano je na šest kontrolnih listova koji su prikazani na slikama koje slijede. Slika 83. prikazuje mjerenje drške glodala od mjerne baze alata koja se nalazi na vrhu rezne oštice po osi $Z=130,488$ mm. Dršku mjerimo u tri mjerne ravnine:












- prva mjerna ravnina nalazi se na: $Z = -50$ mm od baze alata,
- druga mjerna ravnina nalazi se na: $Z = -45$ mm od baze alata,
- treća mjerna ravnina nalazi se na: $Z = -55$ mm od baze alata.

Mjerenjem u tri ravnine kontrolira se je li promjer drške u tolerancijskom polju $\varnothing 20\text{ g6}$ i je li drška cilindrična. Iz rezultata mjerenja svi postavljeni uvjeti na zahtjev drške su zadovoljeni što se može vidjeti iz slijedećih šest slika (mjernih protokola) koji su vezani na ovo mjerenje.



- Slika 84. (kontrolni list 1.) prikazuje rekapitulaciju svih mjernih ravnina,
- Slika 85. (kontrolni list 2.) prikazuje određivanje mjerne baze,
- Slika 86. (kontrolni list 3.) prikazuje mjerenje u prvoj mjernoj ravnini,
- Slika 87. (kontrolni list 4.) prikazuje mjerenje u drugoj mjernoj ravnini,
- Slika 88. (kontrolni list 5.) prikazuje mjerenje u trećoj mjernoj ravnini,
- Slika 89. (kontrolni list 6.) prikazuje odstupanje drške od kružnog oblika.





Slika 83. Mjerenje drške u tri ravnine

Measure protocol		1 / 1																																																																																		
»smarTcheck«		6/14/2012																																																																																		
User	zoller	10:58:47AM																																																																																		
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div> <p>ID no. <u>1.1 DIPL.RAD V507 R5</u></p> <p>Desc. <u>Promjer drske</u></p> <p>Mjerenje promjera drske glodala u tri ravnine. Promjer drske d=20 g6</p> <p>Tester _____</p> </div> <div style="text-align: center;">  </div> </div>																																																																																				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>Result</th> <th>Mod.</th> <th>Nom. value</th> <th>U. tol.</th> <th>L. tol.</th> <th>Act. value</th> <th>f. value</th> <th>New</th> <th>Tolerance</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Lengthways dimension</td> <td>RA</td> <td>131.062</td> <td></td> <td></td> <td>130.488</td> <td>-0.574</td> <td>*</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Crossways dimension</td> <td>DA</td> <td>36.980</td> <td></td> <td></td> <td>36.978</td> <td>-0.002</td> <td>*</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Lengthways dimension</td> <td>RD</td> <td>-50.000</td> <td></td> <td></td> <td>-50.000</td> <td>0.000</td> <td>*</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Crossways dimension</td> <td>DA</td> <td>20.000</td> <td>-0.007</td> <td>-0.020</td> <td>19.990</td> <td>-0.010</td> <td>*</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Lengthways dimension</td> <td>RD</td> <td>-45.000</td> <td></td> <td></td> <td>-45.000</td> <td>0.000</td> <td>*</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Crossways dimension</td> <td>DA</td> <td>20.000</td> <td>-0.007</td> <td>-0.020</td> <td>19.992</td> <td>-0.008</td> <td>*</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Lengthways dimension</td> <td>RD</td> <td>-55.000</td> <td></td> <td></td> <td>-55.000</td> <td>0.000</td> <td>*</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Crossways dimension</td> <td>DA</td> <td>20.000</td> <td>-0.007</td> <td>-0.020</td> <td>19.992</td> <td>-0.008</td> <td>*</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				Result	Mod.	Nom. value	U. tol.	L. tol.	Act. value	f. value	New	Tolerance	Lengthways dimension	RA	131.062			130.488	-0.574	*		Crossways dimension	DA	36.980			36.978	-0.002	*		Lengthways dimension	RD	-50.000			-50.000	0.000	*		Crossways dimension	DA	20.000	-0.007	-0.020	19.990	-0.010	*		Lengthways dimension	RD	-45.000			-45.000	0.000	*		Crossways dimension	DA	20.000	-0.007	-0.020	19.992	-0.008	*		Lengthways dimension	RD	-55.000			-55.000	0.000	*		Crossways dimension	DA	20.000	-0.007	-0.020	19.992	-0.008	*	
Result	Mod.	Nom. value	U. tol.	L. tol.	Act. value	f. value	New	Tolerance																																																																												
Lengthways dimension	RA	131.062			130.488	-0.574	*																																																																													
Crossways dimension	DA	36.980			36.978	-0.002	*																																																																													
Lengthways dimension	RD	-50.000			-50.000	0.000	*																																																																													
Crossways dimension	DA	20.000	-0.007	-0.020	19.990	-0.010	*																																																																													
Lengthways dimension	RD	-45.000			-45.000	0.000	*																																																																													
Crossways dimension	DA	20.000	-0.007	-0.020	19.992	-0.008	*																																																																													
Lengthways dimension	RD	-55.000			-55.000	0.000	*																																																																													
Crossways dimension	DA	20.000	-0.007	-0.020	19.992	-0.008	*																																																																													
<p>All length units in Millimeter, all angle units in Radian</p> <p>Vinski Juraj - alati za obradu drva, Banija 155, 47000 Karlovac Tel: ++385(0)47/645-051, fax: ++385(0)47/645-052, e-mail: vinski-alati@ka.t-com.hr, www.vinski-vial.hr</p>																																																																																				



Slika 84. Mjerenje promjera drške glodala - kontrolni list 1.

Measure protocol "All edges"		1 / 1
»smarTcheck«		6/14/2012
User	zoller	10:59:14AM
<div style="float: right; text-align: right;">  </div>		
ID no.	1.1 DIPL.RAD V507 R5	
Desc.	Promjer drske	
Mjerenje promjera drske glodala u tri ravnine. Promjer drske d=20 g6		
Stufe 1 / 5		
Summary		
Measure value	Nominal	Upper tolerance Lower tolerance Actual
Lengthways dimension	131.062	130.488 ✓
Crossways dimension	36.980	36.978 ✓
Positioning angle		290.64 ✓
Details		
Cutter	Z	X PA
1	(x) 130.488	(x) 36.978 (x) 290.64
Statistic		
Statistical value	Z	X PA
Average	130.488	36.978 290.64
Difference	0.000	0.000 0.00
Maximum dimension	130.488	36.978 290.64
Minimum dimension	130.488	36.978 290.64
Standard deviation	0.000	0.000 0.00
Vinski Juraj - alati za obradu drva, Banija 155, 47000 Karlovac Tel: ++385(0)47/645-051, fax: ++385(0)47/645-052, e-mail: vinski-alati@ka.t-com.hr, www.vinski-vial.hr		



Slika 85. Određivanje mjerne baze – kontrolni list 2

Measure protocol "All edges"		1 / 1
»smarTcheck«		6/14/2012
User	zoller	11:00:21AM
		
ID no.	1.1 DIPL.RAD V507 R5	
Desc.	Promjer drske	
Mjerenje promjera drske glodala u tri ravnine. Promjer drske d=20 g6		
Stufe	2 / 5	
Summary		
Measure value	Nominal	Upper tolerance Lower tolerance Actual
Lengthways dimension	-50.000	
Crossways dimension	20.000	-0.007 -0.020 19.990
Angle 1		0.01
Run-out radial	0.000	0.001
Run-out axial	0.000	0.000
Details		
Cutter	Z	X A1
1	(x) -50.000	19.988 0.00
2	(x) -50.000	(x) 19.990 (x) 0.01
3	(x) -50.000	(x) 19.990 (x) 0.01
4	(x) -50.000	19.988 0.00
5	(x) -50.000	19.988 (x) 0.01
6	(x) -50.000	19.988 (x) 0.01
Statistic		
Statistical value	Z	X A1
Average	-50.000	19.989 0.01
Difference	0.000	0.002 0.01
Maximum dimension	-50.000	19.990 0.01
Minimum dimension	-50.000	19.988 0.00
Standard deviation	0.000	0.001 0.00
Vinski Juraj - alati za obradu drva, Banija 155, 47000 Karlovac Tel: ++385(0)47/645-051, fax: ++385(0)47/645-052, e-mail: vinski-alati@ka.t-com.hr, www.vinski-vial.hr		



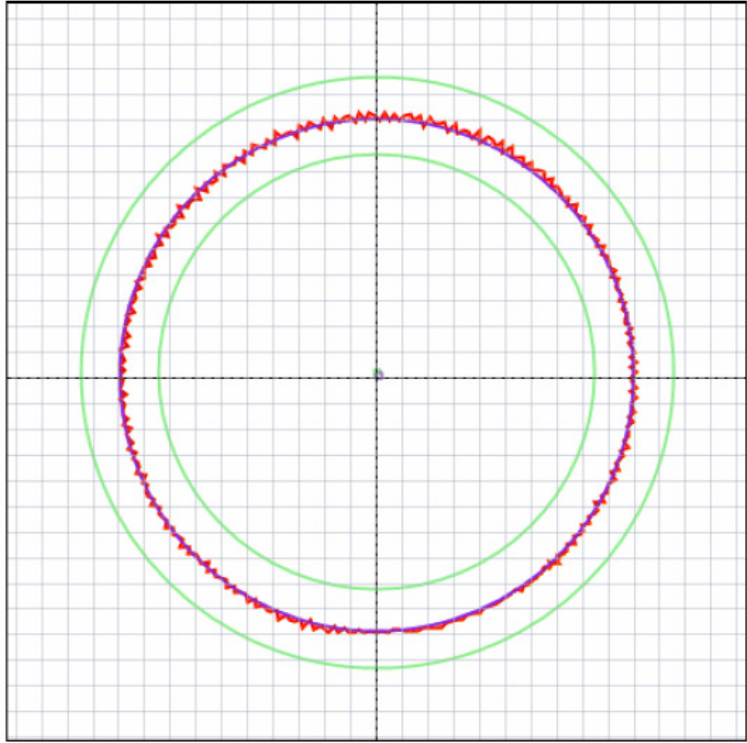
Slika 86. Mjerenje promjera drške u prvoj mjernoj ravnini – kontrolni list 3

Measure protocol "All edges"		1 / 1
»smarTcheck«		6/14/2012
User	zoller	11:00:57AM
		
ID no.	1.1 DIPL.RAD V507 R5	
Desc.	Promjer drske	
Mjerenje promjera drske glodala u tri ravnine. Promjer drske d= 20 g6		
Stufe 3 / 5		
Summary		
Measure value	Nominal	Upper tolerance Lower tolerance Actual
Lengthways dimension	-45.000	-45.000 ✓
Crossways dimension	20.000	-0.007 -0.020 19.992 ✓
Angle 1		0.01 ✓
Run-out radial	0.000	0.003 ✓
Run-out axial	0.000	0.000 ✓
Details		
Cutter	Z	X A1
1	(x) -45.000	19.990 0.00
2	(x) -45.000	(x) 19.992 0.00
3	(x) -45.000	19.990 (x) 0.01
4	(x) -45.000	19.988 (x) 0.01
5	(x) -45.000	19.988 (x) 0.01
6	(x) -45.000	19.988 (x) 0.01
Statistic		
Statistical value	Z	X A1
Average	-45.000	19.989 0.01
Difference	0.000	0.004 0.01
Maximum dimension	-45.000	19.992 0.01
Minimum dimension	-45.000	19.988 0.00
Standard deviation	0.000	0.001 0.00
Vinski Juraj - alati za obradu drva, Banija 155, 47000 Karlovac Tel: ++385(0)47/645-051, fax: ++385(0)47/645-052, e-mail: vinski-alati@ka.t-com.hr, www.vinski-vial.hr		

Slika 87. Mjerenje promjera drške u drugoj mjernoj ravnini - kontrolni list 4.

Measure protocol "All edges"		1 / 1	
»smarTcheck«		6/14/2012	
User	zoller	11:01:25AM	
			
ID no.	1.1 DIPL.RAD V507 R5		
Desc.	Promjer drske		
Mjerenje promjera drske glodala u tri ravnine. Promjer drske d=20 g6			
Stufe 4 / 5			
Summary			
Measure value	Nominal	Upper tolerance Lower tolerance Actual	
Lengthways dimension	-55.000		-55.000 ✓
Crossways dimension	20.000	-0.007 -0.020	19.992 ✓
Angle 1			0.02 ✓
Run-out radial	0.000		0.002 ✓
Run-out axial	0.000		0.000 ✓
Details			
Cutter	Z	X	A1
1	(x) -55.000	19.990	0.01
2	(x) -55.000	(x) 19.992	0.00
3	(x) -55.000	19.990	0.00
4	(x) -55.000	19.990	0.01
5	(x) -55.000	(x) 19.992	0.01
6	(x) -55.000	19.988	(x) 0.02
Statistic			
Statistical value	Z	X	A1
Average	-55.000	19.990	0.01
Difference	0.000	0.004	0.02
Maximum dimension	-55.000	19.992	0.02
Minimum dimension	-55.000	19.988	0.00
Standard deviation	0.000	0.001	0.01
Vinski Juraj - alati za obradu drva, Banija 155, 47000 Karlovac Tel: ++385(0)47/645-051, fax: ++385(0)47/645-052, e-mail: vinski-alati@ka.t-com.hr, www.vinski-vial.hr			

Slika 88. Mjerenje promjera drške u trećoj mjernoj ravnini – kontrolni list 5.

Measure protocol		1 / 1	 vinski juraj <small>ALATI ZA OBRADU DRVA KARLOVAC</small>																				
»smarTcheck«		6/14/2012																					
User	zoller	11:02:21AM																					
<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 30%; border-bottom: 1px solid black;">Identity number</td> <td style="border-bottom: 1px solid black;">1.1 DIPL.RAD V507 R5</td> </tr> <tr> <td style="border-bottom: 1px solid black;">Description</td> <td style="border-bottom: 1px solid black;">Promjer drske</td> </tr> </table>				Identity number	1.1 DIPL.RAD V507 R5	Description	Promjer drske																
Identity number	1.1 DIPL.RAD V507 R5																						
Description	Promjer drske																						
Mjerenje promjera drske glodala u tri ravnine. Promjer drske d=20 g6																							
		<table style="width: 100%; border: none;"> <tr><td style="border-bottom: 1px dashed black;">Increased height</td><td>149.875</td></tr> <tr><td style="border-bottom: 1px dashed black;">Tolerance</td><td>0.020</td></tr> <tr><td style="border-bottom: 1px dashed black;">Run-out radial</td><td>0.005</td></tr> <tr><td style="border-bottom: 1px dashed black;">Evaluation process:</td><td>Average value circle (Gauss)</td></tr> <tr><td style="border-bottom: 1px dashed black;">Diameter</td><td>19.988</td></tr> <tr><td style="border-bottom: 1px dashed black;">Center point X</td><td>0.000</td></tr> <tr><td style="border-bottom: 1px dashed black;">Center point Y</td><td>0.001</td></tr> <tr><td style="border-bottom: 1px dashed black;">Center point offset</td><td>0.001</td></tr> <tr><td style="border-bottom: 1px dashed black;">Crossways nom.</td><td>20.000</td></tr> <tr><td style="border-bottom: 1px dashed black;">Lengthw. nom.</td><td>-50.000</td></tr> </table>		Increased height	149.875	Tolerance	0.020	Run-out radial	0.005	Evaluation process:	Average value circle (Gauss)	Diameter	19.988	Center point X	0.000	Center point Y	0.001	Center point offset	0.001	Crossways nom.	20.000	Lengthw. nom.	-50.000
Increased height	149.875																						
Tolerance	0.020																						
Run-out radial	0.005																						
Evaluation process:	Average value circle (Gauss)																						
Diameter	19.988																						
Center point X	0.000																						
Center point Y	0.001																						
Center point offset	0.001																						
Crossways nom.	20.000																						
Lengthw. nom.	-50.000																						
Vinski Juraj - alati za obradu drva, Banija 155, 47000 Karlovac Tel: ++385(0)47/645-051, fax: ++385(0)47/645-052, e-mail: vinski-alati@ka.t-com.hr, www.vinski-vial.hr																							

Slika 89. Mjerenje odstupanja drške glodala od kružnog oblika – kontrolni list 6

6.2. Mjerenje promjera reznih oštrica i radijalno odstupanje od kružnosti vrtnje

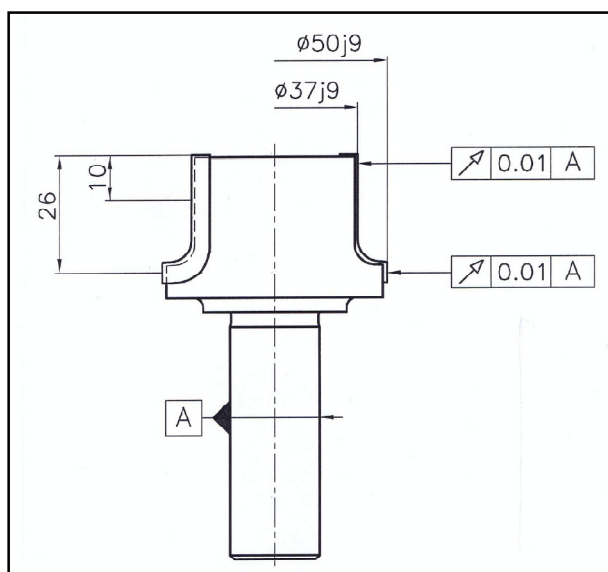
Mjerenje promjera reznih oštrica glodala prikazano je na četiri kontrolna lista koji su prikazani na slikama koje slijede. Slika 91. prikazuje konačne rezultate mjerenja odnosno rekapitulaciju svih mjerenja koje su izvršeni u ovom koraku. Tako se može vidjeti da se alat mjeri od njegove baze koja se nalazi na osi $Z=130,492$ mm.

Promjer rezne oštrice se prvo mjeri na manjem promjeru $d=37$ j9 u mjernoj ravlini koja je za 10 mm niža od baze, a zatim se mjeri veći promjer rezne oštrice $d=50$ j9 u ravlini koja je za 26 mm niža od mjerne baze alata (slika 90).





Ovim mjerenjem kontrolira se je li promjer rezne oštrice alata unutar zadanih tolerancija, a ujedno se vrši kontrola radijalnog odstupanja od kružnosti vrtnje rezne oštrice glodala.

Iz dobivenih rezultata može se vidjeti da su sve mjere unutar zadanih tolerancija i da je radijalno odstupanje rezne oštrice od kružnosti vrtnje unutar dopuštenih granica.



- Slika 91. (kontrolni list 7.) prikazuje rekapitulaciju svih mjerenja.
- Slika 92. (kontrolni list 8.) prikazuje određivanje mjerne baze.
- Slika 93. (kontrolni list 9.) prikazuje mjerenje manjeg promjera $d=37$ j9; na poziciji $Z= -10$ mm od mjerne baze.
- Slika 94. (kontrolni list 10.) prikazuje mjerenje većeg promjera $d=50$ j9; na poziciji $Z= -26$ mm od mjerne baze.




Slika 90. Mjerenje promjera rezne oštrice

Measure protocol		1 / 1					
»smarTcheck«		6/14/2012					
User	zoller	11:19:07AM					
							
ID no.	1.2 DIPL.RAD V507 R5						
Desc.	Promjeri reznih ostrica						
Mjerenje promjera reznih ostrica. Radijalno odstupanje od kružnosti vrtnje. Mjeri se na promjerima $d_1=37 \text{ j9}$ i $d_2=50 \text{ j9}$.							
Tester							
Result	Mod.	Nom. value	U. tol. L. tol. Act. value f. value New Tolerance				
Lengthways dimension	RA	131.062		130.492	-0.570	*	
Crossways dimension	DA	36.980		36.980	0.000	*	
Lengthways dimension	RD	-10.000		-10.000	0.000	*	
Crossways dimension	DA	37.000	0.031 -0.031	36.976	-0.024	*	
Run-out radial		0.000		0.001	0.001	*	
Lengthways dimension	RD	-26.000		-26.000	0.000	*	
Crossways dimension	DA	50.000	0.031 -0.031	49.980	-0.020	*	
Run-out radial		0.000		0.001	0.001	*	
<small>All length units in Millimeter, all angle units in Radian</small>							
Vinski Juraj - alati za obradu drva, Banija 155, 47000 Karlovac Tel: ++385(0)47/645-051, fax: ++385(0)47/645-052, e-mail: vinski-alati@ka.t-com.hr, www.vinski-vial.hr							



Slika91. Mjerenje promjera reznih oštrica i radijalnog odstupanja od kružnosti vrtnje – kontrolni list 7

Measure protocol "All edges"		1 / 1
»smarTcheck«		6/14/2012
User	zoller	11:21:07AM
		
ID no.	1.2 DIPL.RAD V507 R5	
Desc.	Promjeri reznih ostrica	
Mjerenje promjera reznih ostrica. Radijalno odstupanje od kruznosti vrtnje. Mjeri se na promjerima $d_1=37 \text{ j9}$ i $d_2=50 \text{ j9}$.		
Stufe	1 / 3	
Summary		
Measure value	Nominal	Upper tolerance Lower tolerance Actual
Lengthways dimension	131.062	130.492 ✓
Crossways dimension	36.980	36.980 ✓
Positioning angle		290.67 ✓
Details		
Cutter	Z	X PA
1	(x) 130.492	(x) 36.980 (x) 290.67
Statistic		
Statistical value	Z	X PA
Average	130.492	36.980 290.67
Difference	0.000	0.000 0.00
Maximum dimension	130.492	36.980 290.67
Minimum dimension	130.492	36.980 290.67
Standard deviation	0.000	0.000 0.00
Vinski Juraj - alati za obradu drva, Banija 155, 47000 Karlovac Tel: ++385(0)47/645-051, fax: ++385(0)47/645-052, e-mail: vinski-alati@ka.t-com.hr, www.vinski-vial.hr		

Slika 92. Određivanje mjerne baze – kontrolni list 8

Measure protocol "All edges"		1 / 1																																																																								
»smarTcheck«		6/14/2012																																																																								
User	zoller	11:21:38AM																																																																								
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div> <p>ID no. <u>1.2 DIPL.RAD V507 R5</u></p> <p>Desc. <u>Promjeri reznih ostrica</u></p> </div> <div style="text-align: center;">  </div> </div> <p>Mjerenje promjera reznih ostrica. Radijalno odstupanje od kružnosti vrtnje. Mjeri se na promjerima $d_1=37 \text{ j9}$ i $d_2=50 \text{ j9}$.</p>																																																																										
<p>Stufe 2 / 3</p> <p>Summary</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Measure value</th> <th>Nominal</th> <th>Upper tolerance</th> <th>Lower tolerance</th> <th>Actual</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Lengthways dimension</td> <td>-10.000</td> <td></td> <td></td> <td>-10.000</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>Crossways dimension</td> <td>37.000</td> <td>0.031</td> <td>-0.031</td> <td>36.976</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>Angle 1</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0.03</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>Run-out radial</td> <td>0.000</td> <td></td> <td></td> <td>0.001</td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>Run-out axial</td> <td>0.000</td> <td></td> <td></td> <td>0.000</td> <td>✓</td> </tr> </tbody> </table> <p>Details</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Cutter</th> <th>Z</th> <th>X</th> <th>A1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>(x) -10.000</td> <td>(x) 36.976</td> <td>0.01</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>(x) -10.000</td> <td>36.974</td> <td>(x) 0.03</td> </tr> </tbody> </table> <p>Statistic</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Statistical value</th> <th>Z</th> <th>X</th> <th>A1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Average</td> <td>-10.000</td> <td>36.975</td> <td>0.02</td> </tr> <tr> <td>Difference</td> <td>0.000</td> <td>0.002</td> <td>0.02</td> </tr> <tr> <td>Maximum dimension</td> <td>-10.000</td> <td>36.976</td> <td>0.03</td> </tr> <tr> <td>Minimum dimension</td> <td>-10.000</td> <td>36.974</td> <td>0.01</td> </tr> <tr> <td>Standard deviation</td> <td>0.000</td> <td>0.001</td> <td>0.01</td> </tr> </tbody> </table>			Measure value	Nominal	Upper tolerance	Lower tolerance	Actual		Lengthways dimension	-10.000			-10.000	✓	Crossways dimension	37.000	0.031	-0.031	36.976	✓	Angle 1				0.03	✓	Run-out radial	0.000			0.001	✓	Run-out axial	0.000			0.000	✓	Cutter	Z	X	A1	1	(x) -10.000	(x) 36.976	0.01	2	(x) -10.000	36.974	(x) 0.03	Statistical value	Z	X	A1	Average	-10.000	36.975	0.02	Difference	0.000	0.002	0.02	Maximum dimension	-10.000	36.976	0.03	Minimum dimension	-10.000	36.974	0.01	Standard deviation	0.000	0.001	0.01
Measure value	Nominal	Upper tolerance	Lower tolerance	Actual																																																																						
Lengthways dimension	-10.000			-10.000	✓																																																																					
Crossways dimension	37.000	0.031	-0.031	36.976	✓																																																																					
Angle 1				0.03	✓																																																																					
Run-out radial	0.000			0.001	✓																																																																					
Run-out axial	0.000			0.000	✓																																																																					
Cutter	Z	X	A1																																																																							
1	(x) -10.000	(x) 36.976	0.01																																																																							
2	(x) -10.000	36.974	(x) 0.03																																																																							
Statistical value	Z	X	A1																																																																							
Average	-10.000	36.975	0.02																																																																							
Difference	0.000	0.002	0.02																																																																							
Maximum dimension	-10.000	36.976	0.03																																																																							
Minimum dimension	-10.000	36.974	0.01																																																																							
Standard deviation	0.000	0.001	0.01																																																																							
<p>Vinski Juraj - alati za obradu drva, Banija 155, 47000 Karlovac</p> <p>Tel: ++385(0)47/645-051, fax: ++385(0)47/645-052, e-mail: vinski-alati@ka.t-com.hr, www.vinski-vial.hr</p>																																																																										

Slika 93. Mjerenje promjera $d=37 \text{ j9}$ i radijalnog odstupanja od kružnosti vrtnje – kontrolni list 9

Measure protocol "All edges"		1 / 1	
»smarTcheck«		6/14/2012	
User	zoller	11:22:06AM	
			
ID no.	1.2 DIPL.RAD V507 R5		
Desc.	Promjeri reznih ostrica		
Mjerenje promjera reznih ostrica. Radijalno odstupanje od kružnosti vrtnje. Mjeri se na promjerima d₁=37 j9 i d₂=50 j9.			
Stufe	3 / 3		
Summary			
Measure value	Nominal	Upper tolerance Lower tolerance Actual	
Lengthways dimension	-26.000		-26.000 ✓
Crossways dimension	50.000	0.031 -0.031	49.980 ✓
Angle 1			0.01 ✓
Run-out radial	0.000		0.001 ✓
Run-out axial	0.000		0.000 ✓
Details			
Cutter	Z	X	A1
1	(x) -26.000	49.978	(x) 0.01
2	(x) -26.000	(x) 49.980	(x) 0.01
Statistic			
Statistical value	Z	X	A1
Average	-26.000	49.979	0.01
Difference	0.000	0.002	0.00
Maximum dimension	-26.000	49.980	0.01
Minimum dimension	-26.000	49.978	0.01
Standard deviation	0.000	0.001	0.00
Vinski Juraj - alati za obradu drva, Banija 155, 47000 Karlovac Tel: ++385(0)47/645-051, fax: ++385(0)47/645-052, e-mail: vinski-alati@ka.t-com.hr, www.vinski-vial.hr			

Slika 94. Mjerenje promjera d=50 j9 i radijalnog odstupanja od kružnosti vrtnje – kontrolni list 10

6.3. Mjerenje prednjeg i stražnjeg kuta rezne oštrice

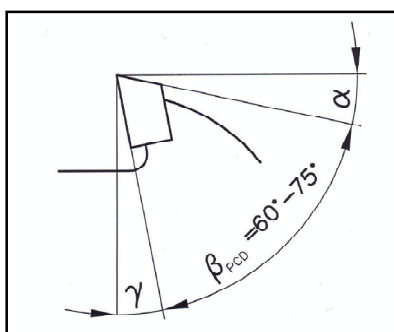
Mjerenje prednjeg i stražnjeg kuta rezne oštrice izvodi se uz pomoć kamere koja se postavi u vertikalni položaj. Kamera se automatski pozicionira i izoštrava sliku mjernog objekta.

Prednji i stražnji kut mjeri se na dva mjesta:

- na manjem promjeru kutevi se mjere na poziciji $Z=130,494$ i na promjeru glodala $d=37$ mm,
- na većem promjeru kutevi se mjere na poziciji $Z=106,654$ i na promjeru glodala $d=50$ mm.

Kontrola ovih kuteva izvršena je na obje rezne oštrice glodala i ustanovljeno je da nema odstupanja od zadanih mjera.

Iz rezultata mjerenja može se vidjeti da kod stražnjeg kuta nema praktički nikakvih odstupanja i na promjeru $d=37$ mm iznosi $12^{\circ}07'12''$, a na promjeru $d=50$ mm iznosi $12^{\circ}04'12''$. Kod mjerenja prednjeg kuta može se vidjeti da on nije jednak na svakom promjeru. Na promjeru $d=37$ mm on iznosi $6^{\circ}10'48''$, a na promjeru $d=50$ mm iznosi $9,91^{\circ}$.





Slika 95. Kutevi rezne oštrice

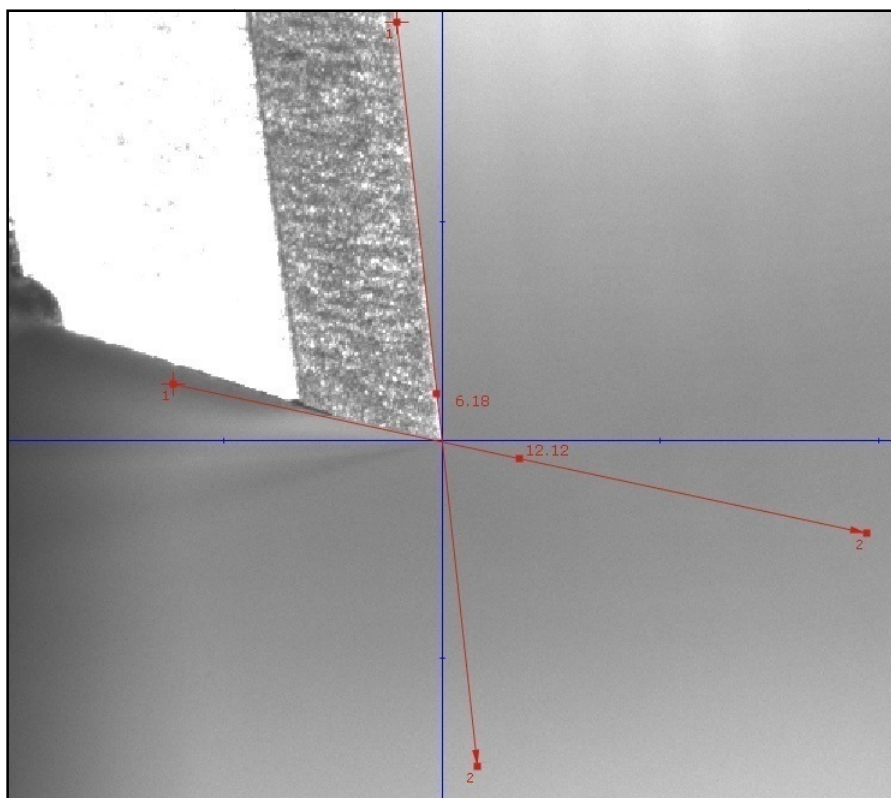
Karakteristični kutevi za reznu oštricu (slika 95.):

- α – stražnji kut,
- β – kut klina,
- γ – prednji kut.

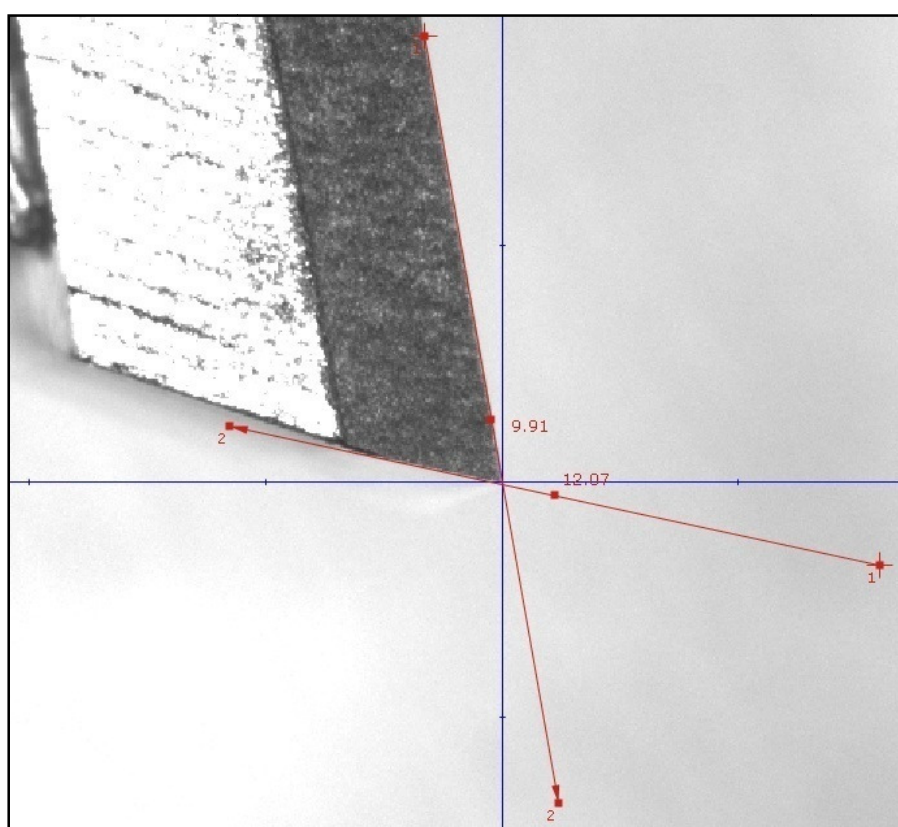
Kut β je kut klina i za materijal PCD on može biti između 60° i 75° . Formula za izračunavanje kuta β glasi: $\beta = 90^{\circ} - (\alpha + \gamma)$, što znači da zbroj prednjeg i stražnjeg kuta ne smije biti manji od 15° niti veći od 30° . U ovom slučaju zbroj kuteva na manjem promjeru daje kut od $18^{\circ}18'00''$ što znači da je kut klina $\beta = 71^{\circ}42'48''$, a zbroj kuteva na većem promjeru je $\beta = 68^{\circ}01'12''$.

Measure protocol		1 / 1						
»smarTcheck«		6/14/2012						
User	zoller	12:00:21PM						
								
ID no.	1.3 DIPL.RAD V507 R5							
Desc.	Prednji i straznji kutevi rezne ostrice							
Mjerenje prednjeg i straznjeg kuta rezne ostrice.								
Tester								
Result	Mod.	Nom. value	U. tol.	L. tol.	Act. value	f. value	New	Tolerance
Lengthways dimension	RA	131.062			130.494	-0.568	*	
Crossways dimension	DA	36.980			36.980	0.000	*	
prednji kut 1 - d37		6.00	0.50	-0.50	6.18	0.18	*	
straznji kut 1 - d37		12.00	0.50	-0.50	12.12	0.12	*	
prednji kut 2 - d37		6.00	0.50	-0.50	6.18	0.18	*	
straznji kut 2 - d37		12.00	0.50	-0.50	12.12	0.12	*	
Lengthways dimension	RA	107.074			106.654	-0.420	*	
Crossways dimension	DA	49.983			45.658	-4.325	*	
prednji kut 1 - d50		10.00	0.50	-0.50	9.91	-0.09	*	
straznji kut 1 - d50		12.00	0.50	-0.50	12.07	0.07	*	
prednji kut 2 - d50		10.00	0.50	-0.50	9.91	-0.09	*	
straznji kut 2 - d50		12.00	0.50	-0.50	12.07	0.07	*	
<p>All length units in Millimeter, all angle units in Radian</p> <p>Vinski Juraj - alati za obradu drva, Banija 155, 47000 Karlovac Tel:++385(0)47/645-051, fax:++385(0)47/645-052, e-mail:vinski-alati@ka.t-com.hr, www.vinski-vial.hr</p>								

Slika 96. Mjerenje prednjeg i stražnjeg kuta – kontrolni list 11.



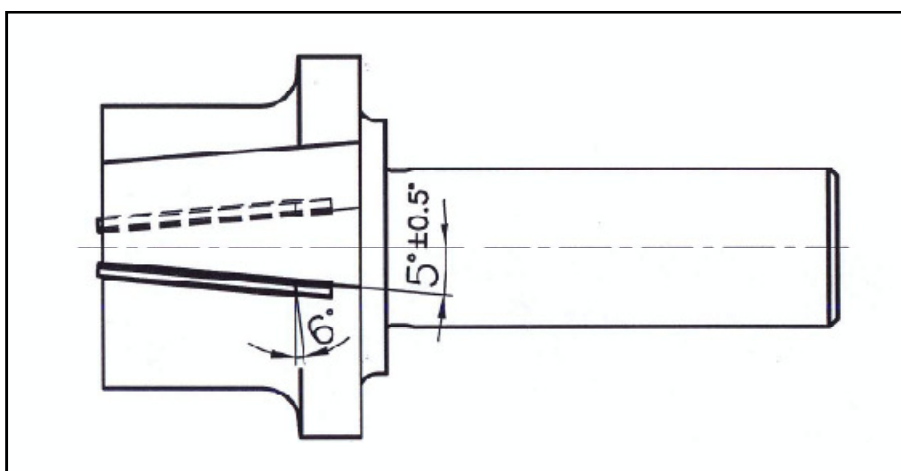
Slika 97. Mjerenje prednjeg i stražnjeg kuta na poziciji $Z=130,494$ i $d=37\text{mm}$



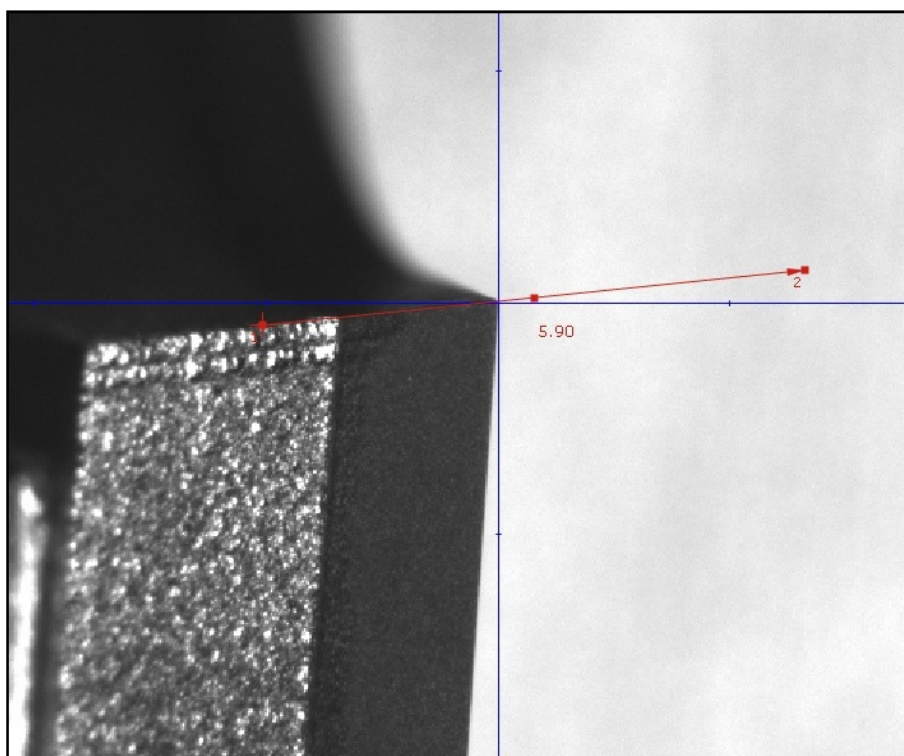
Slika 98. Mjerenje prednjeg i stražnjeg kuta na poziciji $Z=106,654$ i $d=50\text{mm}$

6.4. Mjerenje bočnog stražnjeg kuta rezne oštrice





Bočni stražnji kut glodala prikazan je na slici 25. i iznosi 6° . Mjerenje bočnog stražnjeg kuta je izvršeno na obje oštrice i u oba slučaja on iznosi $5^\circ 54'00''$ što je unutar dozvoljenih granica.



Slika 99. Bočni stražnji kut 6°



Slika 100. Mjerenje bočnog stražnjeg kuta

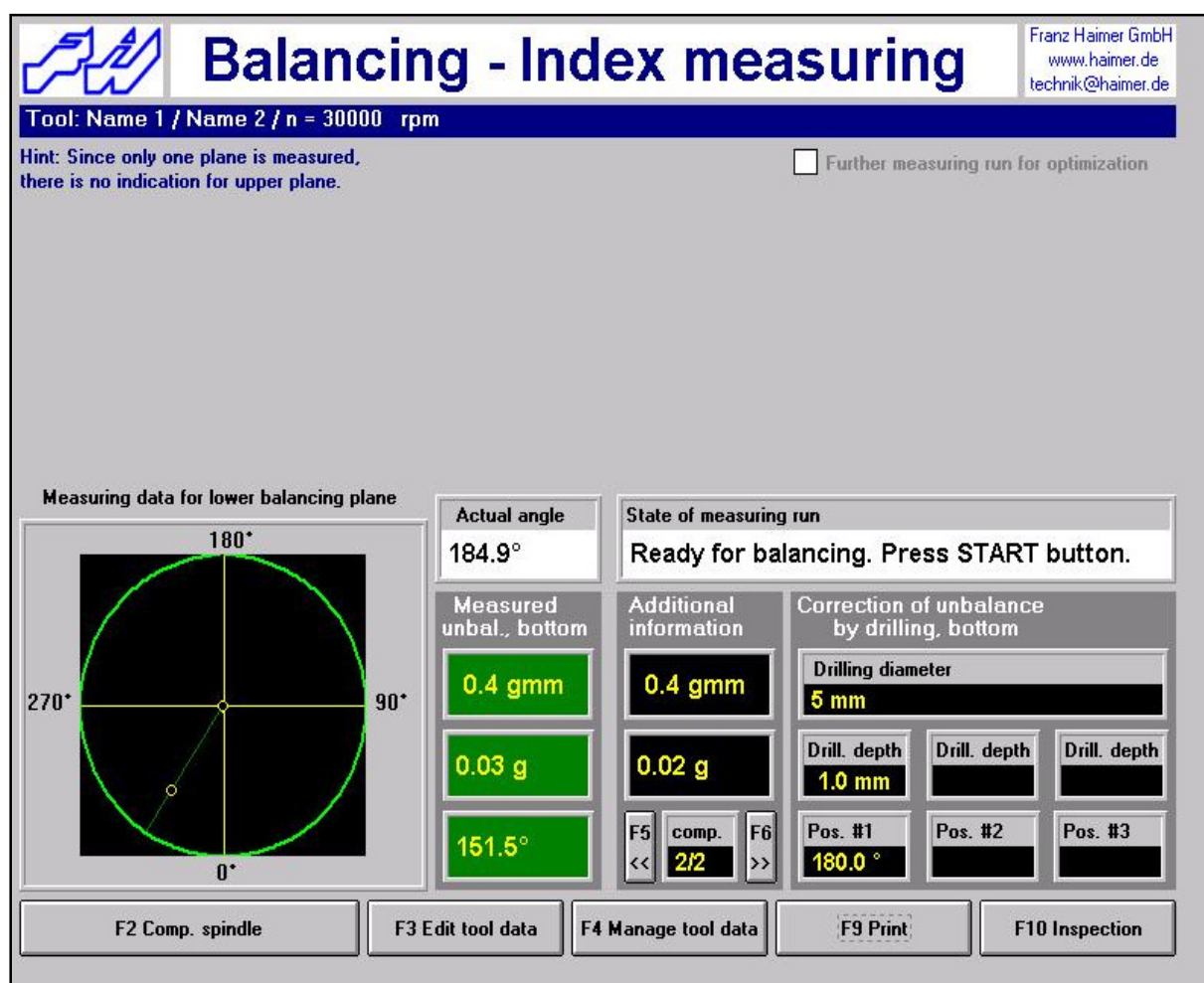
Measure protocol		1 / 1						
»smarTcheck«		6/14/2012						
User	zoller	1:22:40PM						
								
ID no.	1.4 DIPL.RAD V507 R5							
Desc.	Bocni straznji kut na izlazu radijusa rezne ostr.							
Mjerenje bocnog straznjeg kuta na izlazu radijusa rezne ostrice								
Tester								
								
Result	Mod.	Nom. value	U. tol.	L. tol.	Act. value	Δ value	New	Tolerance
Lengthways dimension	RA	106.500			106.501	0.001	*	
Crossways dimension	DA	49.980			49.980	0.000	*	
Bocni straznji kut 1		6.00	0.50	-0.50	5.90	-0.10	*	
Bocni straznji kut 2		6.00	0.50	-0.50	5.90	-0.10	*	
<p>All length units in Millimeter, all angle units in Radian</p> <p>Vinski Juraj - alati za obradu drva, Banija 155, 47000 Karlovac Tel: ++385(0)47/645-051, fax: ++385(0)47/645-052, e-mail: vinski-alati@ka.t-com.hr, www.vinski-vial.hr</p>								

Slika 101. Mjerenje stražnjeg bočnog kuta – kontrolni list 12.

6.5. Kontrola uravnoteženosti mase (balansiranje)



Kontrola uravnoteženja mase odnosno balansiranje, vrši se na uređaju za balansiranje koji je detaljnije opisan u poglavlju 5.3.2.2. Budući da će se ovo glodalno koristiti na CNC nadstolnoj glodalici koja je opisana u poglavlju 5.1.3. alat mora moći podnositi režime rada koji su propisani za ovaj stroj.

Stoga se ovaj alat balansira tako da može podnositi vrlo velike brojeve okretaja, a da pri tome ne dolazi do neželjenih pojava kao što su vibracije, velika udarna opterećenja, oštećenje ležajeva itd.

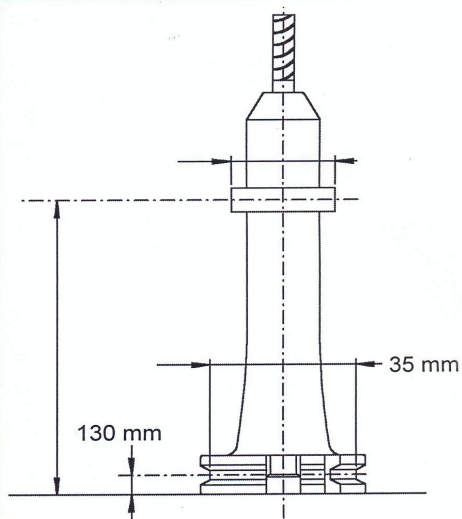


Slika 102. Prikaz na ekranu računala koji se pojavljuje ako je alat dobro izbalansiran

Kada se na ekranu računala pojavi slika kao što je prikazano na slici 102., neuravnoteženost mase je u granicama traženog (alat je izbalansiran). Na slici se može vidjeti da mala neuravnoteženost mase još uvijek postoji i iznosi 0,03 grama na poziciji 151.5°, ali ona neće imati nikakvog utjecaja na alat prilikom njegovog rada.

 made by haimer	TOOL DYNAMIC	Typ: TD 2002
 ALATI ZA OBRADU DRVA KARLOVAC	Banija 155, HR - 47000 Karlovac telefon - ++385 47 645 051 fax - 645 052 e-mail - vinski-alati%ka.t-com.hr	

Balancing Certificate

<p> Date: 14.06.12 Customer: FSB Order no.: Operator: MARKO VINSKI Rotor: PROFILNO D50x28.5x20/55 Z2 </p> <p> <u>Tolerance:</u> </p> <p> Quality grade: G = 6,3 Service speed: n = 30000 rpm Mass: M = 0.33 kg </p> <p> Method of measuring: 1 plane (statically) </p> <p> Perm. unbalance, bottom: 0.66 gmm Measuring speed: 1100 rpm </p>	
--	---

Lower plane			
Unbalance	0.4 gmm	151.5°	good

Result	
Rotor is within tolerance.	good

Slika 103. Rezultati balansiranja

Rezultati balansiranja (slika 103.) pokazuju da je veličina debalansa za ovo glodalo $U=0,4$ gmm, dozvoljeni broj okretaja je 30000 o/min i klasa balansiranja $G=6.3$. Dobiveni rezultati su unutar granica koje propisuje norma ISO 1940 i proizvođač stroja na kojemu će ovaj alat raditi.

7. OCJENA KVALITETE ISPITANOG GLODALA

U ocjeni kvalitete glodala polazi se od pretpostavke da se ocjena kvalitete glodala ne može temeljiti samo na osnovi završne kontrole već se temelji na osnovi cijelog proizvodnog sustava. Prema tome, kvaliteta ovog glodala je usko povezana s kvalitetom proizvodnog procesa.

Kontrola zadanog glodala izvršena je prema razrađenom planu kontrole. Kontrola je podijeljena na onu koja se vrši tijekom proizvodnog procesa (međufazna kontrola) i na završnu kontrolu.

U normi HRN EN 847-1 i HRN EN 847-2 propisani su zahtjevi koje mora ispuniti alat s drškom. Prema gore navedenim normama konstruira se alat koji je u skladu sa standardima koji su u njima propisani i za svaku fazu se izrađuje nacrt. Međufazna kontrola je zapravo kontrola svake faze proizvodnje i provjerava se je li ta faza izvršena u skladu sa zadanim mjerama na nacrtu.

Ipak, kod ocjene kvalitete ovog glodala veća pozornost je usmjerena na završnu kontrolu zbog specifičnosti pojedinačne proizvodnje.

Najviše pažnje prilikom završne kontrole posvećuje se zahtjevima koji su propisani za dršku glodala, reznju oštricu glodala i uravnoteženost mase (balansiranje). Iz dobivenih rezultata može se vidjeti da su svi dobiveni rezultati unutar dozvoljenih odstupanja.

Ovdje je važno napomenuti da se radi o pojedinačnoj proizvodnji i da na temelju jednog uzorka (glodala s drškom) nije moguće dati objektivnu ocjenu o kvaliteti, ali iz rezultata koji su dobiveni završnom kontrolom može se reći da ovo glodalo zadovoljava sve propisane standarde za takvu vrstu alata.

8. ZAKLJUČAK

Cilj ovog diplomskog rada bio je ispitivanje kvalitete alata za obradu drva s oštricom od polikristalnog dijamanta (PCD). Pored toga, u radu su ukratko opisani svi alati za obradu drva i drugih materijala na bazi drva, s posebnim naglaskom na glodala s oštricom od PCD-a. Za PCD se može reći da je jedan od najnaprednijih materijala koji se koristi u tehnologiji obrade drva i drugih materijala na bazi drva. Objašnjen je postupak njegove proizvodnje, povijesni razvoj i svojstva alata za obradu drva koji imaju oštricu od PCD-a. To je relativno nova tehnologija na našem tržištu i u poduzeću Vinski Juraj je uvedena prije desetak godina u obliku održavanja alata od PCD-a, a kasnije i izrade pojedinačnih alata prema zahtjevima kupaca. Alat koji je predmet ovog diplomskog rada proizveden je u poduzeću Vinski Juraj te je za njega opisan i dokumentiran cijeli tehnološki proces izrade, izvršena su mjerenja prema planu kontrole te je dana ocjena kvalitete predmetnog glodala.

Strojevi i oprema u navedenom poduzeću su na visokom tehnološkom nivou, a uz potporu osposobljenih djelatnika omogućena je proizvodnja kvalitetnih alata za obradu drva s oštricom od PCD-a. Konstantno se usavršava i osuvremenjuje postojeći sustav i vrše se investicije u najmodernije strojeve i mjerne uređaje kojima se uspješno nadograđuje segment kontrole kvalitete. Za alat koji je predmet ovog rada, opisana je proizvodnja po svim fazama proizvodnog procesa u skladu s normama HRN EN 847-1 i HRN EN 847-2 koje govore o sigurnosnim zahtjevima alata za obradu drva. Izrađen je plan kontrole prema kojemu su izvršena ispitivanja ovog glodala, a dobiveni rezultati kontrole pokazuju da su zadovoljene sve norme koje trebaju ispuniti alati za obradu drva s oštricom od PCD-a. Zahtjevi po pitanju mjera, tolerancijskih polja i uravnoteženosti mase su ispunjeni i može se reći da je opća ocjena kvalitete ovog glodala vrlo visoka.

Kontrola kvalitete je od izuzetne važnosti za cjelokupan proces proizvodnje alata za obradu drva jer se time omogućava uočavanje eventualnih nedostataka te poboljšavanje proizvodnog sustava i samog proizvoda. To sve pozitivno utječe na zadržavanje povjerenja kupaca i stvaranje konkurentnih prednosti poduzeća. Kontinuirano praćenje razvoja tehnologije i njena primjena u kontroli kvalitete nezaobilazna je i nužna u suvremenoj industriji proizvodnje alata za obradu drva i ostalih materijala na bazi drva.

9. LITERATURA

- [1] Tehnička enciklopedija; Leksikografski zavod *Miroslav Krleža*, 1963.- 1997; Svezak 1; A-Beta - Alati – Alatni strojevi.
- [2] Tehnička enciklopedija; Leksikografski zavod *Miroslav Krleža*, 1963.- 1997; Svezak 3; Č - Elek – Drvo, Mehanička prerada - Ploče vlaknatice
- [3] Goglia, V.: Strojevi i alati za obradu drva 1. Dio; Šumarski fakultet Zagreb, Zagreb, 1994 g.
- [4] Filetin, T.; Kovačiček, F.; Indof, J.: Svojstva i primjena materijala; fakultet strojarstva i brodogradnje, 2009 god.
- [5] Stupnišek, M.; Cajner, F.: Osnove toplinske obrade metala, Sveučilište u Zagrebu; Fakultet strojarstva i brodogradnje. Zagreb, 2001 g.
- [6] Novosel, M.; Cajner, F.; Krumes, D.: Alatni materijali, Sveučilište J.J. Strossmayer u Osijeku, 1996 g.
- [7] Inženjerski priručnik, Proizvodno strojarstvo, prvi svezak –Materijali, Školska knjiga, Zagreb, 1998.
- [8] Filetin, T.; Grilec, K.: Postupci modificiranja i prevlačenja površina, Hrvatsko društvo za Materijale i tribologiju, Zagreb, 2004 g.
- [9] Kraut, B.: Krautov strojarski priručnik, Axiom, 1997 g.
- [10] Decker, K.-H.: Elementi strojeva; Tehnička knjiga, Zagreb 2006 g.
- [11] Kovač, B.; Tehničko crtanje - IV, popravljeno izdanje; Školska knjiga Zagreb, 1964 god.
- [12] Jambreković, V.: Drvene ploče i emisije formaldehida, Šumarski fakultet Zagreb, 2004 g.
- [13] Rebec, B.: Rezni alati; Sveučilišna naklada Liber Zagreb 1988 g.
- [14] Eshil, I.; Osnove površinske zaštite; Sveučilište u Zagrebu; fakultet strojarstva i brodogradnje; Zagreb, 2007.
- [15] Tehnička enciklopedija; Leksikografski zavod *Miroslav Krleža*, 1963.- 1997; Svezak 1; Ter-Ž- Zavarivanje i srodni postupci – Lemljenje; 1997 g.
- [16] HRN EN 847-1: Alati za obradu drva – Sigurnosni zahtjevi – 1.dio: alati za glodanje i listovi kružnih pila. 2001 g.
- [17] HRN EN 847-2: Alati za obradu drva – Sigurnosni zahtjevi – 2.dio: Zahtjevi za jačinu drške alata za glodanje. 2001 g.

- [18] Gjeldum, N.: Tehnološko i ekonomsko optimiranje postupka obrade rotacijskih elemenata; Sveučilište u Splitu; Split, 2009 g.
- [19] Milkić, D.: Elektroerozivna obrada sa žičanom elektrodom i njena primjena u suvremenoj praksi; Savez alatničara Beograd 1984 g.
- [20] ISO 1940: Mechanical vibration – Balance quality requirements. 1986 g.
- [21] Diamond for Industry – Machining of wood – De Beers Industrial diamond division. 2000 g.
- [22] Clark, I. E.: PCD as a tool material for woodworking applications, Proceedings of 11th International wood machining seminar, Norway, May 1993.
- [23] Clark, I.E.: PCD wood tools- a new design concept, Industrial diamond review 1993g.
- [24] Wener, G.; Kenter, M.: Grindability of polycrystalline diamond. Industrie Diamanten Rundschau, 1988 g.
- [25] Syndite PCD as a high-performance tool material. De Beers industrie diamanten GmbH, Dusseldorf 1985 g.
- [26] Katalog METAL WORLD; Professional tools - PCD tools, 1996 g.
- [27] Katalog FREUD; General catalogue; 2009 g.
- [28] The Leitz-Leksikon, Editon 4, str. 717 – 832.
- [29] Radna uputstva za stroj; Wekke – OPTIMAT BHC VENTURE 2
- [30] <http://www.fsb.hr/kas> Zavod za tehnologiju; Katrdra za alatne strojeve; Piljenje, tokarenje, glodanje, brušenje
- [31] <http://www.metalworld.it> ;12.05.2012.
- [32] <http://www.leucotool.com> ;16.05.2012
- [33] <http://www.leitztooling.com> ;17.05.2012
- [34] <http://www.vollmer.de> ;22.05.2012
- [35] <http://www.decorain.hr> ;22.05.2012
- [36] <http://www.tigra.de> ;29.05.2012
- [37] <http://www.brazetec.com> ;04.06.2012.
- [38] <http://www.haimer.com/start.htm> ;06.06.2012.
- [39] <http://www.zoller.info/en/home> ; 08.06.2012.
- [40] Interna dokumentacija poduzeća Vinski Juraj Karlovac.